

Bodenaktivität und Fettsäuren von Nadelwalderde

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung
der Philosophischen Doktorwürde

vorgelegt der
Philosophischen Fakultät II
der Universität Zürich

von
OTTO ANNER
von Tegerfelden AG

1981

Begutachtet von Prof. Dr. H. Wanner

Zürich 1980
Zentralstelle der Studentenschaft



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Bodenaktivität und Fettsäuren von Nadelwalderde

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung
der Philosophischen Doktorwürde

vorgelegt der
Philosophischen Fakultät II
der Universität Zürich

von
OTTO ANNER
von Tegerfelden AG

Begutachtet von Prof. Dr. H. Wanner

Zürich 1980
Zentralstelle der Studentenschaft



INHALTSVERZEICHNIS

1.	EINLEITUNG	5
1.1.	Die Bedeutung der organischen Substanz und der Lipide im Boden	5
1.2.	Problemstellung	10
2.	UNTERSUCHUNGSGEBIETE	12
2.1.	Fichtenurwald Scatlè bei Brigels/Graubünden	12
2.1.1.	Lage	12
2.1.2.	Bodenbildung	12
2.1.3.	Vegetation	15
2.1.4.	Klimaverhältnisse	15
2.1.5.	Probeentnahme	16
2.1.6.	Bodenprofil Scatlè	17
2.1.7.	Bestimmung von Bodenfaktoren	20
2.2.	Fichtenwald Gottschalkenberg	24
2.2.1.	Lage, Probeentnahme	24
2.2.2.	Kurzbeschreibung	24
3.	BODENAKTIVITÄT	25
3.1.	Methoden zur Bestimmung der Bodenaktivität	25
3.1.1.	Keimzahlbestimmung	25
3.1.2.	CO ₂ -Gaswechsellmessung (Absorptionsmethode)	28
3.1.3.	Aethylennachweis über Nadelwalderde	30
3.1.4.	Präparation für Rasterelektronenmikroskopie	30
3.2.	Ergebnisse der Bodenaktivitätsbestimmungen	31
3.2.1.	Keimzahlbestimmungen	31
3.2.2.	CO ₂ -Gaswechsellmessung	32
3.2.3.	Aethylennachweis	44
3.2.4.	Nadeln und Nadelfragmente im REM	44

3.3.	Diskussion	46
3.3.1.	Keimzahlbestimmungen	46
3.3.2.	CO ₂ -Bestimmungen	46
3.3.3.	Aethylenachweis	47
3.3.4.	Pilz- und Bakterienbefall der Nadeln und Nadel- fragmente	48
4.	LIPIDE DER NADELWALDERDE	49
4.1.	Methoden zur Aufarbeitung der Bodenproben für die Fettsäure- und Alkananalyse	49
4.2.	Ergebnisse	53
4.2.1.	Extraktion und Löslichkeit	53
4.2.2.	Lipidfractionen verschiedener Standorte	53
4.2.3.	Gesättigte Fettsäuren im Boden	56
4.2.4.	Fettsäuremuster von Fichtenaestchen und-nadeln	72
4.2.5.	Hydroxyfettsäuren in der Streuschicht	74
4.2.6.	Alkane in Fichtenwalderde	75
4.3.	Diskussion	76
4.3.1.	Löslichkeit der Wachse der Nadeloberfläche	76
4.3.2.	Abbauleistungen der Nadelwalderde	76
4.3.3.	Lipid- und Fettsäurefraktionen	79
4.3.4.	Fettsäuremuster von Fichtenaestchen	82
4.3.5.	Hydroxyfettsäuren in der Streuschicht	82
4.3.6.	Alkane in der Fichtenwalderde	82
5.	ZUSAMMENFASSUNG	84
6.	LITERATURVERZEICHNIS	85
7.	ANHANG	93

1. EINLEITUNG

1.1. Die Bedeutung der organischen Substanz und der Lipide im Boden

In vielen Böden ist organisches Material gelagert, das für chemische Umsetzungen direkt bereitliegt oder ungebraucht über sehr lange Zeiträume akkumuliert wird. Das organische Material stammt letzten Endes von den photosynthetischen Prozessen. Wichtigster Bestandteil ist der Kohlenstoff. Dieses Element tritt, nach dem mehrstufigen, biochemischen Einbau ins pflanzliche Material, via Abbauprozesse in die Atmo-, Geo- oder Biosphäre zurück. Die Stoffumsetzungen des Abbaues gehen von energiereichen Edukten aus und führen meist zu energieärmeren Endprodukten. Die letzten Glieder einer Abbaureihe können Kohlendioxyd und Wasser sein.

Theoretisch könnte man den Boden als riesiges Verbrennungssystem betrachten und den biologischen Energiefluss am Kohlendioxydausstoß messen (MACFAYDEN, 1978). Weil der Boden ein sehr komplexes System darstellt, genügt die einseitige Betrachtung des Gehaltes an organischer Substanz und des Kohlendioxydausstosses nicht. Es muss zusätzlich in Betracht gezogen werden, dass Abbauprodukte im Boden chemisch gebunden werden und so Veränderungen hervorrufen können.

Da sich der Abbau terrestrischer Substanz hauptsächlich im Boden abspielt, hängt der Energie- und Kohlenstoffkreislauf global gesehen von der steilen oder jahreszeitlich abhängigen Zersetzung der organischen Teile der Bodensubstanz durch Fauna und Flora ab. Organisches Material gelangt nach dem Abfall oder dem Absterben der Blätter, Nadeln, Zweige, Früchte und Samen als Streu auf den Boden. Abgestorbene Wurzeln, Ausscheidungsprodukte von Wurzeln und Mikroben, Leichen von Bodentieren und Mikroorganismen fallen jederzeit in den verschiedenen belebten Schichten im Boden an. Die Rückstände dienen den Bodentieren und Mikroorganismen als Nahrung und werden dabei zersetzt. Die Organismen weisen eng gekoppelte, ineinandergreifende Tätigkeiten auf, welche wir als biologische Bodenaktivität bezeichnen. Die Gesamtaktivität mit der im Boden vorherrschenden Reduzententätigkeit ist nicht leicht erfassbar. Aerobier veratmen Sauerstoff und produzieren Kohlendioxyd. Anaerobier bilden in

sauerstoffarmer oder -freier Umgebung leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe wie Methan, Propan oder toxische Gase wie Äthylen oder Propylen. Gewisse Organismen beeinflussen die Zusammensetzung der Bodenluft wesentlich durch die Fixierung von Stickstoff oder die Produktion von Stickoxiden. Für die Bestimmung der Reaktionsgeschwindigkeit der biochemischen Umsetzungen im Boden (KOEPEL, 1954) muss man aus der Vielfalt der Stoffe und Methoden eine Auswahl treffen. Somit ist die Gesamtaktivität mit ihrer Vielzahl von Reaktionen nur annäherungsweise bestimmbar. Eine repräsentative Methode zur Erfassung der Bodenaktivität ist die Bodenatmung.

Oft werden die Begriffe Bodenatmung und CO_2 -Produktion als Synonyme verwendet. Die von LUNDEGÅRDH, 1924, vorgeschlagenen Begriffe sollten beibehalten werden. Er definierte die Bodenatmung als die CO_2 -Menge, die im Freiland während einer Stunde von einem Quadratmeter Bodenoberfläche an die Atmosphäre abgegeben wird ($\text{mg CO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$). Unter CO_2 -Produktion einer Erdprobe versteht man die je Gewichts- oder Volumeneinheit des Bodens abgegebene Kohlendioxidmenge ($\text{mg CO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ kg}^{-1}$, $\text{mg CO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-3}$). Der Gastransport erfolgt im Boden durch Diffusion oder Konvektion. Verschiedene Faktoren beeinflussen die beiden Prozesse und erschweren Interpretationen der Bodenatmungsmessungen. So wird am natürlichen Standort die Konvektion u.a. durch die Sogwirkung des Windes, Temperaturschwankungen und Löslichkeit der Gase in Wasser beeinträchtigt (FLUEHLER, 1973). Da die Diffusionskoeffizienten wegen der verschiedenen Phasenanteile (fest, flüssig, gasförmig) ändern, erfolgt die Diffusion der Gase in einem Boden nicht kontinuierlich. Die verschiedenen Quellen und Senken im Boden - Stellen, wo Gase freigesetzt oder gebunden werden - weisen verschiedene Partialdrucke auf. Auch hier beeinflusst die Löslichkeit die Diffusion. Standardisierte Versuchsansätze im Labor zur Bestimmung der Bodenaktivität auf Grund des Kohlendioxidausstosses bieten neben oben erwähnten Nachteilen (Werte können für Produktionsberechnungen von Ökosystemen nicht herangezogen werden) auch viele Vorteile. In kontrollierten Ansätzen lassen sich einzelne Parameter (Feuchte, Temperatur, Körnung etc.) verändern.

Seit dem 16. Jahrhundert wird diskutiert, ob pflanzliche und tierische tote Reste das Wachstum der pflanzlichen Organismen beeinflussen (MC CALLA und HASKINS, 1964). PLENK, 1795, und DE CANDOLLE, 1813, postulierten als

erste eine negative Beeinflussung des Wachstums der Pflanzen durch Toxine, eventuell durch Exkrete von Wurzeln. Studien über den Einfluss von organischem Material auf das Wachstum der Pflanzen werden seit LIEBIG gemacht. Versuche zur Toxinhypothese (Bodenmüdigkeit) wurden erst seit Anfang dieses Jahrhunderts durchgeführt (SCHREINER und REED, 1908, SCHREINER und SHOREY, 1908, u.a.). Man erkannte schon relativ früh die Abhängigkeit zwischen der Abbaugeschwindigkeit (Mineralisierung und Humifizierung) und der stofflichen Zusammensetzung der Pflanzenrückstände.

Die Resistenz organischer Komponenten gegenüber dem mikrobiellen Abbau ist eine wichtige Determinante für die Beurteilung eines Bodens. Zu den schwer abbaubaren Stoffen natürlichen Ursprungs gehören nach MINDERMAN, 1968, Phenole und Wachse. Die Beharrlichkeit eines Stoffes in einem Bodenökosystem wird von vielen Faktoren beeinflusst. Zu ihnen gehören:

- physikochemische Eigenschaften der Moleküle (Löslichkeit, Stabilität in der Umgebung, Flüchtigkeit)
- chemische Reaktionen mit Bodenkolloiden (anorganisch und organisch)
- Konzentration
- Aufeinanderfolge eventueller abbauender Enzyme und Reaktionen.

Lipide sind Stoffwechselprodukte, die unter anderem auf der Oberfläche der Blätter, Früchte etc. angelagert werden. Der Cuticula, die von der Epidermis gebildet wird, können verschiedene Funktionen zugeordnet werden (Transpirationsschutz (GRNCAREVIC und RADLER, 1967), Schutz vor pathogenen Organismen wie Pilze, Bakterien, Viren, Insekten (BLAKEMAN, 1973, SCHUETT, 1971, 1972) und Schutz vor Biociden (EDGINGTON et al., 1973)).

Die Blattlipide sind am lebenden Objekt der chemischen und mikrobiellen Zersetzung ausgeliefert. Die mechanische Einwirkung durch Umweltfaktoren muss ebenfalls in Betracht gezogen werden. Mit dem Blattfall kommen diese Blattoberzüge auf und in den Boden. Der schützende Überzug muss nun nach und nach abgebaut werden, wenn das absterbende Material wieder den Kreisläufen zugefügt werden soll. Die erwähnten Epidermisauf-lagen haben nach CRISP, 1963, zur Eroberung des Landes durch die Pflanzen

beigetragen. Für eine erste Abbauphase scheint sich diese "Erfindung" als hemmender Faktor auszuwirken. Die Cuticula, die das lebende Blatt geschützt hat, verliert nach dem Absterben ihre Widerstandsfähigkeit nicht sofort. Der Abbau des Blattmesophylls kann erst nach und nach einsetzen.

Lipide können nach STEVENSON, 1966, aus den meisten Böden isoliert werden. Sie rühren von Pflanzen, Tieren und Mikroben her. Die grossen Mengen, die von den verschiedenen Pflanzen stammen (TULLOCH, 1973, 1978, TULLOCH und HOFFMANN, 1971, 1977, EGLINGTON und HAMILTON, 1967 u.a.m.), prägen die Mannigfaltigkeit der Lipide im Boden (STEVENSON, 1966, CASALICCHIO und LERCKER, 1973, GALLOPINI und RIFFLADI, 1969, HAESLER, 1974, u.a.m.). In den obersten Schichten einer künstlich angelegten Monokultur können wir das Abbild des Blattlipidmusters erwarten. In den unteren Bodenschichten und in Sedimenten dürfte sich die Tätigkeit der Konsumenten und Destruenten widerspiegeln. Die in den Bodenprofilen vorhandenen Lipide bilden den Nettoertrag der additiven und degraditiven Prozesse.

Eine Literaturübersicht (BRAIDS und MILLER, 1975) zeigte, dass die Lipide unter den Komponenten des organischen Bodenmaterials am schlechtesten untersucht sind (siehe auch WAGNER und MUZOREWA, 1977). Ausnahmen bilden die Böden um die Oelfelder und die Moor- und Torfböden.

Der Anteil der Lipide am organischen Material beträgt in mineralischen Böden 1-5%, in organischen Böden bis zu 20% (BRAIDS und MILLER, 1975). Bodenlipide beeinflussen die Bodencharakteristik. Dies äussert sich in den physikalischen Bodeneigenschaften. Ausscheidungen von Pilzen und Bakterien können mit den hydrophoben, wasserunlöslichen Überzügen der Pflanzenteile die Nährstoffbewegungen und den Wasserhaushalt zwischen dem absterbenden Material und den Bodenpartikeln für eine gewisse Zeit unterbinden (Abbildung 1). Die Vorgänge sind noch nicht bekannt.

SCHREINER und SHOREY wiesen 1910 im Zusammenhang mit der Toxizität der Dihydroxystearinsäure auf Wachskörnchen hin, die als Umhüllung von Bodenpartikeln den Pflanzen und Mikroorganismen den Zugang zu den Nährstoffen versperren sollen.

Mikroorganismen besorgen den Abbau der Streue. Sie müssen demzufolge für Veränderungen an stabilen Bodenlipiden verantwortlich gemacht werden. WAGNER und MUZOREWA, 1977, zeigten, dass Lipide aus organischem Material

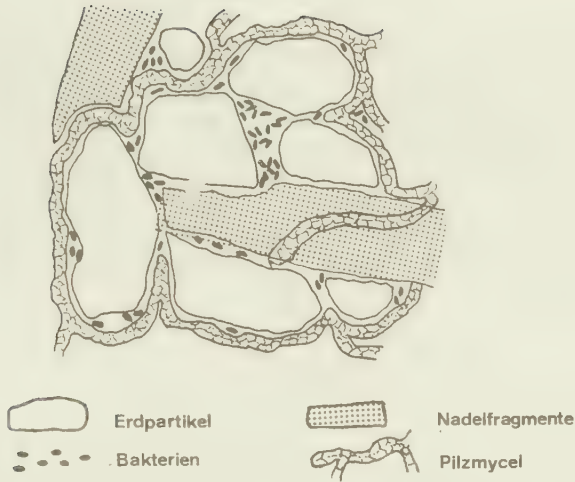


Abbildung 1 : Aggregation von Bodenpartikeln mit Pflanzenresten, Pilzen und Bakterien. Die Pflanzenrückstände dienen als Nahrung, die Bakterien verkleben die Partikel und schaffen Angriffsflächen, die Pilze umschlingen die Bestandteile. Gemeinsam wird stabilisiert und abgebaut. (Schematische Darstellung, abgeändert nach LYNCH, 1979).

mikrobieller Herkunft sein können. Auf Grund chemisch-physikalischer Daten muss für gewisse Lipide, z.B. langkettige Fettsäuren und Alkane, Auswaschung oder Verflüchtigung ausgeklammert werden, wenn sie aus dem Bodenprofil verschwinden.

Innerhalb eines Bodenökosystemes können die unten aufgeführten Vorgänge während des Abbaues der Blattüberzüge bzw. Pflanzeninhaltsstoffe vermutlich die Fettsäurezusammensetzung nur geringfügig verändern. Grössere Verschiebungen in der relativen Zusammensetzung der Fettsäuren rufen nur die mit + bezeichneten Vorgänge hervor:

- Zerkleinerung durch tierische Organismen innerhalb der Nahrungskette (Makro- und Mesofauna).
- + Abbau durch heterotrophe Mikroorganismen (Destruenten).
- + Umbau durch Mikroorganismen.
- Abbau durch Autolyse abgestorbener Organismen bzw. "Herauslösen" von Fettsäuren aus dem Partikulären.
- Abiotischer, chemisch-physikalischer Um- bzw. Abbau.

Chemische Zersetzungen sind nach KHAN und KOLATTUKUDI, 1974, bei Fettsäuren möglich. Veränderungen mit Decarboxylierung einer C_{32} -Säure zu einem C_{31} -Alkan und einer C_{30} -Säure zu einem C_{29} -Alkan sind in einem zellfreien System in Anwesenheit von Ascorbinsäure und Sauerstoff nachgewiesen worden. Mit Umbauten muss gerechnet werden. Wegen der erwähnten Einschränkungen dürfen aber diese Reaktionsabläufe nicht allzu stark gewichtet werden. In einem Bodenoekosystem spielen sie eine untergeordnete Rolle.

1.2. Problemstellung

In Anlehnung an die Ergebnisse vorangegangener Arbeiten von HÄSLER, 1974, SANTOSA, 1974, EGLI, 1975, STOCKER, 1977, wandten wir uns zur Hauptsache den stabilen, langkettigen, gesättigten Fettsäuren zu und untersuchten ihr Vorkommen sowie ihren Einfluss auf Grund von Zusätzen in einem Bodenoekosystem mit einem hohen, natürlichen Lipidanteil.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war:

- Fettsäureanalyse von Nadelmaterial von *Picea abies* L. Karst.
- Untersuchungen von Nadelwalderde in verschiedenen Zersetzungsstadien.

Nach HAMAKER, 1972, muss die Konzentration der einzelnen Stoffe in die quantitativen Untersuchungen der Abbauprozesse einbezogen werden. Deshalb interessierten uns die Konzentrationen der langkettigen Fettsäuren in den verschiedenen Schichten eines Fichtenurwaldes.

- Bodenaktivitätsbestimmungen entlang eines Profiles.
Mit der CO_2 -Absorptionsmethode erfasste man einen der möglichen direkten Indikatoren des Abbaues an Erdproben. Mit Zusätzen analysierte man die möglichen Abbauleistungen der einzelnen Horizonte.
- Nachweis toxischer Gase über der Erdoberfläche.
- Vergleich des Fettsäure-Musters der Nadeln, des Fettsäure-Profiles mit den übrigen Ergebnissen der Bodenfaktoren- und Aktivitätsanalysen.

Wir suchten nach Zusammenhängen zwischen den Fettsäurevorkommen

und der Gesamtbodenaktivität, diskutierten Auswirkungen auf andere Organismen, mögliche Abbaumechanismen unter Annahme eines herrschenden Steady-state-Zustandes und unter Berücksichtigung der Umweltbedingungen an der Probeentnahmestelle.

Für einen Grossteil der vorliegenden Arbeit wurde Material ursprünglicher Fichtenwälder benutzt.

2. UNTERSUCHUNGSGEBIETE

Zur Bearbeitung des Fragenkomplexes benützte man Pflanzen- und Erdmaterial verschiedener Gebiete, z.T. aus den Lehrwäldern der ETH Zürich (Institut für Waldbau). Im folgenden Kapitel wird das Probenmaterial näher beschrieben.

2.1. Fichtenurwald Scatlè bei Brigels, Graubünden

2.1.1. Lage

Der geschützte Wald erstreckt sich in einem circa 250 m breiten Band im Val Friscal bei Brigels/Graubünden von 1580 m ü.M. bis in eine Höhe von 2015 m.

Der ENE-Hang wird im E und N von Wald, im S von einem Lawinenzug und im W durch Fels begrenzt und weist eine Neigung von 30 - 40° auf.

Wegen der Unwegsbarkeit des Gebietes wurde das Areal seit Menschenzeiten nicht genutzt (HILLGARTER, 1971). KRAL und MATER 1969 zeigten, dass dieses Areal nur unwesentlich durch einen anthropogenen Einfluss hätte beeinflusst werden können. Sie schliessen auf Grund von pollenanalytischen Untersuchungen auf einen Primärwald.

Als Grundgestein finden wir Verrucano, der durch postglaziale Verschiebungen an die Oberfläche gelangte. Der untere Teil des Urwaldreservates unser Untersuchungsgebiet (Abbildung 2) steht auf einer aus Verrucano bestehenden Blockhalde (KAECH, 1972, HILLGARTER, 1971).

Das Probenentnahmeareal befindet sich in der 1. Höhenstufe (HILLGARTER, 1971) und enthält Baume, die der Strukturform der zweischichtigen Optimalphase (LEIBUNDGUT, 1959) zugeordnet werden (Abbildung 3).

2.1.2. Bodenbildung

Die Bodenbildung und das Entstehen der Vegetationsnarbe wurden einst als Folge der Oberflächenverwitterung durch die Felsspalten und die topographischen Senken und Mulden wegen der geringeren Erosion gefördert.

Reservat Scatlè Lageplan

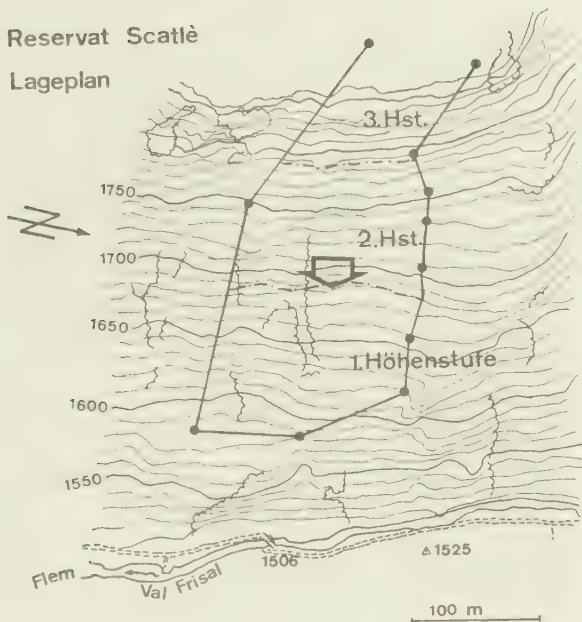


Abbildung 2: Lage des Fichtenurwaldes Scatlè bei Brigels, GR.
Lageplan nach HILLGARTER, 1971, und der IK der Schweiz,
1 : 25 000 , Blatt 1193, Tödi .

□ Probeentnahmestelle

Das Gemisch der mineralischen Materialien und der organischen Ablagerungen bilden heute den "Boden", der von KRAL und MAYER, 1969, als eine Uebergangsform zwischen einem Podsol-Ranker (Humus-Silikat-Rohboden), Braunerdepodsol und einem Eisenhumuspodsol (z.T. alpiner Zwergpodsol) beschrieben wurde. HILLGARTER, 1971, sprach von einem A_0 -Silikatlackboden mit Feinerde in den Spalten. Gemäss dem neuen FAO-System (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1979,) darf der Boden nicht mehr als Ranker bezeichnet werden. Wegen des Lockergesteines liegt hier nun ein Regosol vor. Demzufolge haben wir im Untersuchungsareal eine Rohboden-Regosol Podsol Uebergangsform.



Abbildung 3: Schematische Darstellung eines Waldes in der zweischichtigen Optimalphase (nach LEIBUNDGUT, 1959).

Bemerkungen zum Begriff "Zweischichtige Optimalphase":
Der Begriff "Phase" weist auf die Entwicklungsstufe der Waldgesellschaft hin. Eine Gesellschaft der Optimalphase ist gekennzeichnet durch die wenig veränderliche Struktur, den Vorrat und das Fehlen des Erneuerungsprozesses. Wälder der Optimalphase sind entweder Ein- oder Zweischichtbestände. In der zweischichtigen Optimalphase ist das Höhenwachstum für die eine Schicht abgeschlossen. Der Bestand weist eine gute Zuwachsleistung und ein hohes Bestandesschlussvermögen auf (MAYER, 1976).

Der Boden ist wegen des Ausgangsmaterials grobmaschig. Die Streu lagert heute über einer mehr oder weniger mächtigen Humusschicht auf dem verwitternden Felssturzmaterial. Auf den Blöcken ist die Erdauflage sehr flachgründig (FIEDLER und SCHMIEDEL, 1973). In den Spalten herrschen flachgründige Verhältnisse.

Die Kleintopographischen und mikroklimatischen Verhältnisse erzeugen lokal leicht veränderte Vorgänge bei der Bodenbildung. In den beschriebenen Spalten kommt es zu einer besseren Vermischung der organischen und der mineralischen Anteile.

Geringere Einstrahlung und fehlende, über die Bodenoberfläche streichende Winde lassen in den Spalten höhere Feuchtigkeit entstehen. Durchgehende Kanäle und Ritzen ermöglichen eine verbesserte Sauerstoffversorgung der Abbauprozesse, verhindern einen Wasserstau, erniedrigen aber gleichzeitig die Temperaturwerte.

Der hohe Skelettanteil und die damit verbundene hohe Wasserdurchlässigkeit schaffen die Basis der wenigen Ansprüche, die die Fichte an den Boden stellt. Die intensive Durchwurzelung der Horizonte ist ein Hinweis für die günstigen Bedingungen.

2.1.3. Vegetation

Im Reservat dominiert ein subalpiner Heidelbeer-Fichtenurwald (Piceetum subalpinum-myrtilletosum) (HARTL, 1967, HILLGARTER, 1971, KRAL und MAYER, 1969, und MAYER, 1961,). Aufgrund der Standorteigenschaften, -insbesondere wegen des feuchten Klimas und der chemischen und physikalischen Beschaffenheit des Bodens, -konnte sich stellenweise eine verarmte Oxalis-Gesellschaft entwickeln.

2.1.4. Klimaverhältnisse

Für Scatlè und die nähere Umgebung gibt es keine Klimaangaben. Zur Ermittlung der Durchschnittstemperatur verwendete man interpolierte Werte (GENSLER, 1978).

Im Untersuchungsareal liegen die Durchschnittstemperaturwerte für 1600 m ü.M. bei circa 9°C. Ferner kommen kleinräumig noch grosse Temperaturschwankungen vor. Kaltluftströme aus den oberen Zonen des Reservates

treten nach HILLGARTER, 1971, in den unteren Lagen aus dem verzweigten Hohlsystem des Bergsturzgebietes aus und beeinflussen neben dem Verjüngungsvorgang auch den Abbauprozess in der Nadelwalderde negativ (Temperaturerniedrigung) und positiv (bessere Durchlüftung).

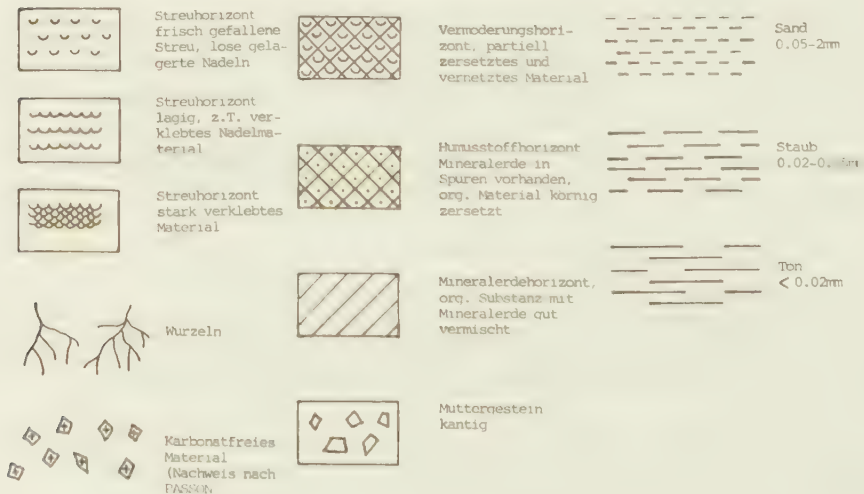
2.1.5. Probeentnahme

Das Erdmaterial wurde für die Untersuchungen innerhalb eines Areales an mehreren möglichst gleichartigen Standorten entnommen. Diese gehörten immer der gleichen Hangpartie mit derselben Neigung an. Sie befanden sich inmitten eines grösseren Bestandes. So schaltete man die Störungen durch die Randeffekte aus. Das Material stammte von Stellen, in denen die Zonen der Moos-Kraut- und Strauchschicht vegetationsfrei waren. Zur Vervollständigung des Profiles holte man Proben aus den Spalten.

Legende zum Bodenprofil Scatlè (Abbildung 4)

In der Profilskizze sind die charakteristischen Bodeneigenschaften durch untenstehende Signaturen dargestellt.

Signatures nach RICHARD et. al., 1978.



2.1.6. Bodenprofil Scatlè

Zusammenstellung



Abbildung 4: Bodenprofil Fichtenurwald Scatlè
 Signaturen nach RICHARD et al. ,1978.
 Legende: Seite 16

Horizontbezeichnungen und Beschreibungen

Für die Horizontbezeichnungen verwendete man die Symbole von RICHARD et al., 1978, die so aufgebaut sind, dass sie den Vorschlägen der FAO und der ISSS (International Society of Soil Science) möglichst entsprechen.

Der Scatlè-Boden wurde in folgende Haupthorizonte unterteilt:

Symbol		Beschreibung
alt	neu	
A ₀₀	L	Streuhorizont des Bodenprofils (L=litter) unzersetztes organisches Material Herkunft meist noch erkennbar
A ₀	F	Vermoderungshorizont (Fermentationshorizont) teilweise zersetzte organische Substanz, die grob bis feinkörnige Zersetzung kennzeichnet den Grad des Abbaues
A ₀	H	Humusstoffhorizont humifizierte, stark umgewandelte, organische Substanz, Herkunft des Materials ist nicht mehr feststellbar
A	A	Mineralerdehorizont Mineralerde gemischt mit gut abgebauter organischer Substanz
C	C	Muttergestein Gesteinsmaterial, das von der Bodenbildung nicht erfasst worden ist

Die Haupthorizonte wurden unterteilt in:

Index	Beschreibung
h	humifizierte, gut zersetzte, organische Substanz
v	mit Ton angereicherter Horizont, verwittert

Profilbeschreibung

Streuhorizont: Hellbraune bis gelbliche Nadeln, Aestchen- und Zapfenfragmente, sehr wenig bis keine Humuspartikel.

Uebergang Streu-Vermoderungshorizont: Dunkelbraune, mehr oder weniger kompakte Masse, wenig intakte Nadeln, Nadelfragmente relativ gross, feine Aestchen- und Zapfenrückstände, Humuspartikel.
Stellenweise sichtbares Pilzmycel, Klumpenbildung der Nadeln und Nadelfragmente ist Folge der filzigen Struktur der Pilzhyphen.

Vermoderungshorizont: Dunkelbraune, stark von Wurzeln durchsetzte Masse. Keine intakten Nadeln mehr, grösserer Anteil von kleinen Nadelfragmenten als in der darüberliegenden Schicht. Aestchen- und Zapfenbruchstücke noch klar erkennbar.
Das weisse Pilzmycel bildet mit Humuspartikeln Klumpen (Verklebung).
In der tieferen Zone dieser Schicht verfärbt sich das organische Material und wird nach und nach in eine amorphe Masse überführt.

Humusstoffhorizont: Deutlich dunkelbraun gefärbte Erde. Stellenweise leichte Graufärbung durch das darunter- bzw. danebenliegende Gesteinsmaterial, Humuspartikel klar erkennbar, stark durchwurzelt.
Mycel weniger gut ausgebildet als in der Fermentations-schicht.

Mineralerdehorizont: Gräulichbraunes, feinkörniges, durchwurzeltes Erdmaterial, Fragmente des organischen Materials können makroskopisch auf Herkunft identifiziert werden.
Mycel fehlt weitgehend.

Uebergang Mineralerde- Muttergesteinshorizont: Grau-dunkelbraunes Erdmaterial, von Wurzeln und Gesteinsteilchen durchsetzt.

Regenwurm-tätigkeit: In keinem der untersuchten Horizonte konnten Regenwürmer bzw. Regenwurmröhren beobachtet werden.

2.1.7. Bestimmung von Bodenfaktoren

pH-Messungen

Die Erdproben wurden mit destilliertem Wasser aufgeschlämmt (10 ml/ g Erde). Am andern Morgen bestimmte man den pH-Wert dieser Suspension.

In den Schichten von 2-5 cm kommt es gegenüber dem Streuhorizont zu einer Erhöhung des pH-Wertes. In den unteren Lagen des Profiles wird die Erde wieder etwas saurer. Die Wasserstoffionenkonzentration wird bis zur Kontaktzone mit dem Silikatgestein gehalten. Zuunterst sinkt sie dann noch einmal.

Bestimmung des Glühverlustes der Erde

Von Erdproben, die bis zur Gewichtskonstanz bei 85°C getrocknet wurden, ermittelte man den Glühverlust mittels Veraschung bei 600°C nach 24 h.

Die auf dem direkten Weg bestimmte organische Substanz nimmt nicht kontinuierlich ab. In einer ersten Phase verringert sich der prozentuale Gehalt nur wenig. In der oberen Zone des Vermoderungshorizontes (5-10 cm) fällt er stark ab, hernach nimmt er stetig bis in die Zone des Silikatgesteines ab.

Kalkgehaltbestimmung

Die Karbonatbestimmung erfolgte volumetrisch mit der Apparatur nach PASSON mit 20 g Erde und 10% iger Salzsäure (STEUBING, 1965).

Der Kalkgehalt entspricht den in der Literatur, (SCHMIDT-VOGT, 1977), für die Fichte zitierten Werten.

Horizont		pH-Wert	organische Substanz	Kalkgehalt
cm	Bezeichnung		%	%
0- 2	L	5.0	86.7	1.5
2- 5	L / F	5.2	77.9	1.0
5-10	F	4.7	21.9	1
10-20	F	4.5	15.2	1
20-30	H	4.4	10.1	1
30-40	A	4.3	8.9	1
50-60	C	4.7	6.1	1

Tabelle 1: Chemische Analyse des Bodenprofils Scatlè

Zusammenstellung

pH-Wert-Bestimmung: Aufschwemmung Boden-Wasser 1:10

Organische Substanz: Direkte Bestimmung aus dem Glühverlust (Gew. Prozent)

Kalkgehalt: Bestimmung nach PASSON (% CaCO_3)

Bestimmung des Korngrößenanteiles

Das getrocknete Erdmaterial wurde durch Sieben in Bodenskelett (organisches Material, Steine > 1.5 mm) und Feinerde (< 1.5 mm) getrennt. Die Fraktionierung der Feinerde erfolgte mit der Siebsatz DIN 1771 (1.5 mm, 1.02 mm, 0.49 mm, 0.25 mm, 0.102 mm und 0.06 mm).

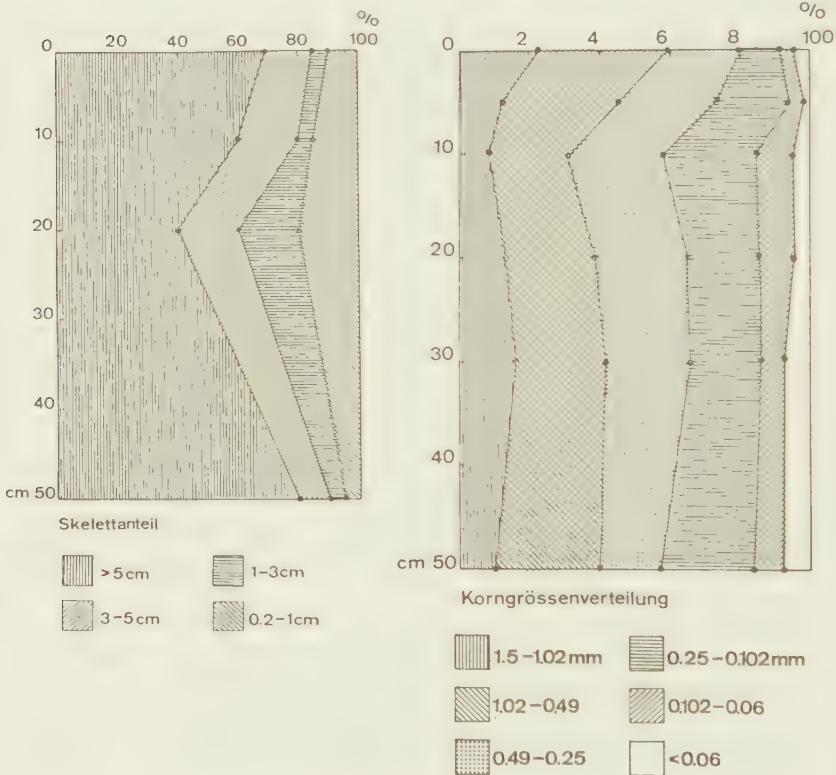


Abbildung 5: Bodenprofil Scatiè

Skelettanteil und Korngrößenverteilung

(Korngrößenbestimmung der Feinerde (< 1.5 mm) mit Siebsatz DIN 1771 (1.5 mm - 0.06 mm)).

Bestimmung des Erdprobevolumens

Da eine Bestimmung des Volumens am Standort mit dem Stechzylinder nicht überall möglich war, ermittelte man das Volumen von 100 g getrockneter, locker aufgeschütteter Erde im Standzylinder. Diese Ergebnisse besitzen weniger Aussagekraft als diejenigen der Bestimmung des Porenvolumens (STEUBING, 1965).

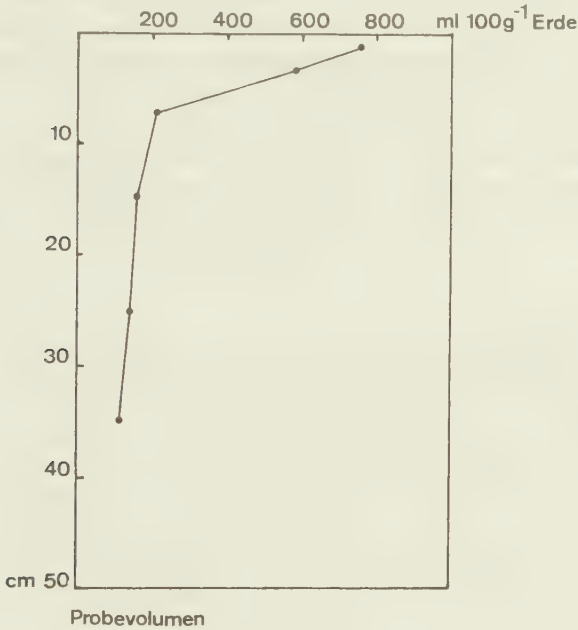


Abbildung 6: Bodenprofil Scatlè
Bodenprobevolumen von jeweiligen 100 g Erde

100 g locker geschichtete Nadeln beanspruchen ein Volumen von 750 ml. Teilzersetztes Material der Uebergangszone L / F-Schicht benötigt nur noch halb so viel Raum. Im Mineralbodenhorizont beansprucht das zersetzte Material nur noch 1/5 bis 1/10 des ursprünglichen Volumens.

2.2. Fichtenwald Gottschalkenberg ZG

2.2.1. Lage, Probeentnahme

Für eine Versuchsserie verwendeten wir bei Aktivitätsbestimmungen Fichtenwalderde vom Gottschalkenberg.

Das Material stammte aus einer mittelgründigen Fichtenwald-Parzelle eines eben bis schwach geneigten Hanges aus 1080 m ü. M. (Koordinaten 692 475/ 223 100, Landeskarte 1 : 25 000, Blatt 1132, Einsiedeln).

Für diese Untersuchungen benutzte man Erde aus einer Tiefe von 10 - 20 cm. Die Probeentnahme erfolgte in oder unter der Wurzelzone der Krautschicht. Aus diesem Grunde beschränkt sich die Kurzbeschreibung nur auf die F-Schicht.

2.2.2. Kurzbeschreibung

Der F- Horizont besteht hauptsächlich aus unzersetzten oder partiell abgebauten Nadeln. Dieses Material bildet eine mehr oder weniger verfilzte Schicht. Der Podsol ist charakterisiert durch den stark graubraunen A-Horizont, der sich im unteren Teil deutlich von der bleichen Auswaschungszone abhebt. Der stark humose Boden (Anteil an organischer Substanz 24.6%) mit der Bleichzone entstand durch Auswaschung der Tonteilchen bei sauren Bodenreaktionen. Nach ARISTOVSKAJA, 1956, ist ein solcher Podsolboden arm an Bakterien, denn der niedrige pH-Wert (3.6) ist ein schlechtes Biotop für viele Bodenbakterien.

3. BODENAKTIVITÄT

Im allgemeinen zählt man die Bakterien zu den wichtigsten Bodenbesiedlern. Die extrem mannigfaltigen Populationen sind für den Kohlenstoff- und Phosphorkreislauf etc. mitverantwortlich. Im Bodenoekosystem sind die wenig pH-toleranten Pilze ebenso wichtig wie die Bakterien. Ihre wesentliche Aufgabe besteht in der Zersetzung der pflanzlichen Reste.

Im folgenden Kapitel versuchen wir, die Tätigkeit der beiden Organismengruppen zu charakterisieren. Dabei verzichten wir aber auf die Identifikation einzelner Organismen.

3.1. Methoden zur Bestimmung der Bodenaktivität

3.1.1. Keimzahlbestimmung

Für die Ermittlung der Keimzahl verwendete man aus Einzelproben bestehende Mischproben. Das gut gemischte, gesiebte ($< 1.5 \text{ mm}$) Material wurde mit dem Mörser zerrieben. 10 g der Erdprobe gab man zu 100 ml 1 : 20 verdünnter steriler Winogradsky-Lösung und schüttelte gut. Da die Wahl des Mediums einen beträchtlichen Einfluss auf die Resultate hat, wurden mehrere Medien verwendet. Wir benutzten das Bodenextrakt-Medium mod. nach JAMES, 1958, Mineralmedium nach THORNTON, 1922, Pepton-Medium aus PARKINSON et al., 1971, und das Czapek-Dox-Agar-Medium aus PARKINSON et al., 1971.

15 ml Nährmedium (45°C) wurden zum Inokulum gegeben und gut vermisch. Die Agar-Platten inkubierte man bei 25°C . Pilze zählte man nach 2 Tagen, Bakterien nach dem 6. Bebrütungstag bis zum 12. Tage.

Medien

Bodenextrakt-Medium (modifiziert nach JAMES, 1958)

für Bakterien und Pilze

1 kg Gartenerde

2.5 l Leitungswasser

während 30 Minuten autoklavieren, filtrieren

in 1 l heissem Extrakt lösen:

0.2 g K_2HPO_4

15.0 g Agar

5.0 g Hefeextrakt

1.0 g Glucose

während 20 Minuten autoklavieren

Thornton-Medium (Mineralmedium nach THORNTON, 1922)

für Bakterien

1.0 g K_2HPO_4

0.5 g KNO_3

0.5 g Asparagin

0.2 g $MgSO_4 \cdot 7 H_2O$

0.1 g $CaCl_2$

0.1 g NaCl

0.002g $FeCl_3$

in oben erwähnter Reihenfolge in 1 l dest.
Wasser lösen

15.0 g Agar

während 5 Minuten autoklavieren

1.0 g Mannitol

pH 7.0 - 7.2

während 20 Minuten autoklavieren

Pepton-Medium (aus PARKINSON et al.,1971)

für Bakterien

5.0	g	Pepton
1.0	g	Hefeextrakt
0.01	g	FePO_4
15.0	g	Agar

in 1 l dest. Wasser lösen
während 20 Minuten autoklavieren
pH 7.2

Czapek-Dox-Agar-Medium (aus PARKINSON et al.,1971)

für Pilze

30.0	g	Saccharose
2.0	g	NaNO_3
0.1	g	K_2HPO_4
0.5	g	KCl
0.5	g	$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$
0.01	g	$\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ (separat lösen und zuletzt zugeben)
15.0	g	Agar
6.5	g	Hefeextrakt

in 1 l dest. Wasser lösen
während 20 Minuten autoklavieren
pH 5.0 -5.5

Lösungen

Winogradsky's-Standard-Salzlösung (aus RODINA,1972)

5.0	g	K_2HPO_4
2.5	g	$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$
2.5	g	NaCl
0.05	g	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$
0.05	g	$\text{MnSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$

in 1 l Leitungswasser lösen,
zum Gebrauch 1 : 20 mit Leitungswasser ver-
dünnen.

3.1.2. CO_2 -Gaswechselmessung (Absorptionsmethode)

Beim Abbau der Nadelstreu muss den zoologischen und mikrobiologischen Faktoren eine verschieden grosse Bedeutung zugemessen werden. Eine Aufgliederung der Teilvorgänge mit intaktem Erdmaterial konnte nicht erzielt werden.

Als Substrat für die Gaswechselmessungen wählten wir gesiebte Erde (Normsieb DIN 1771, 1.5 mm) verschiedener Schichten und Standorte. Dieses Material diente jeweils als Kontrolle gegenüber den Erdproben der Abbauversuche, die mit Fettsäuren und Alkanen vermischt wurden. Mit den Zusätzen verabreichten wir den Erdproben eine Substanzgruppe, die mit dem Nadelfall auf natürlichem Wege in den Boden gelangt und dort als Streubestandteil die Bodenaktivität zu irgendeinem Zeitpunkt beeinflusst.

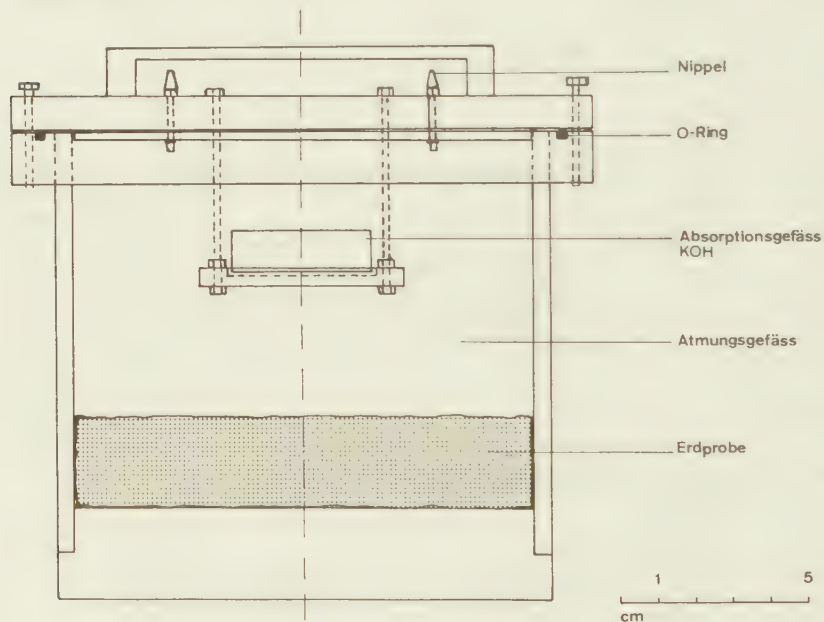


Abbildung 7: Atmungsgefäß für CO_2 -Gaswechselmessung (Absorptionsmethode)

Die Bestimmung der CO_2 -Menge erfolgte nach der Absorptionsmethode. Wir wählten ein System, bei dem sich ein Absorptionsgefäß (Absorptionsfläche 13.85 cm^2) mit 0.5 n KOH (Titrisol) über der Erdprobe befand. Als Atmungsgefäße benutzten wir Plexiglaszylinder von 10.0 cm Höhe und einem Innendurchmesser von 12.5 cm (siehe Abbildung 7). Die Behälter wurden mit einem eingefetteten O-Ring und 8 Schrauben dicht gehalten. Bei diesem Bestimmungsverfahren wurden die von HABER, 1958, STEUBING, 1965, und INO und MONSI, 1969, beschriebenen Methoden modifiziert. Wir verwendeten Plexiglasgefäße, in denen die Absorptionsflüssigkeit mit einer freien Oberfläche möglichst nahe über der Erdprobe hing. Die absorbierte CO_2 -Menge wurde durch Titration mit 0.1 und 1 n HCl (Titrisol) bestimmt. Die Titration erfolgte nach ISERMEYER, 1952, unmittelbar im Reaktionsgefäß .

Da das Kohlendioxyd nicht kontinuierlich bestimmt wurde, waren verschiedenen lange Messperioden unvermeidlich. Bei aktiven Erdproben musste die CO_2 -Bestimmung mindestens einmal täglich durchgeführt werden. Es wurde darauf geachtet, dass nur circa 30% der Lauge verbraucht wurde. Aus diesem Grunde konnten bei inaktiven Proben die Messperioden verlängert werden.

In Vorversuchen untersuchte man " CO_2 -freie Luftproben" gaschromatographisch und kontrollierte so das Absorptionsvermögen der Kalilauge. Nach der Titration blieben die Atmungsgefäße eine halbe bis eine Stunde geöffnet. Das Luftgemisch über der Erdprobe musste sich während dieser Zeit "regenerieren", damit man bei allen Messungen möglichst gleiche CO_2 -Konzentrationen als Ausgangssituation hatte.

Für die Abbaubersuche wählten wir folgende Bedingungen:

Versuchstemperatur: $25 \pm 3^\circ \text{ C}$

Wassergehalt: Während der Versuchsdauer konstant, ca. 70%,
der Wasserverbrauch wurde wöchentlich ergänzt (Gewichtskonstanz).

Licht: Die Atmungsgefäße wurden in dunklen Inkubationskästen aufbewahrt.

Da die Erdproben in den Atmungsgefäßen stets etwa gleichen Bedingungen ausgesetzt waren (Versuchstemperatur und Raumtemperatur während Titration und Regeneration), musste dem Kondenswasser, das sich in den Kapillaren bilden kann (DOMSCH, 1961), und den Druckveränderungen bei dieser Methode keine besondere Beachtung geschenkt werden.

3.1.3. Aethylenachweis über Nadelwalderde

Aus den CO_2 -Atmungsgefässen mit den verschliessbaren Nippeln konnten für den Nachweis von Aethylen Luftproben in bestimmten Intervallen entnommen werden. Probenmengen von 2 ml Atmungsluft wurden mit einer gasdichten Hamilton-Spritze mit möglichst geringem Totvolumen direkt in den Gaschromatographen eingespritzt. Die Analyse der Luft über der Erdprobe erfolgte unter folgenden Bedingungen:

Kolonne:	Stahl
Trennmaterial:	Poropak Q
Arbeitstemperatur:	isotherm, 80°C
Trägergas:	Helium

3.1.4. Präparation für die Rasterelektronenmikroskopie, REM

Die lyophilisierten Nadeln und Nadelfragmente wurden mit Graphitpaste Hydro-Collag (Balzers, 14095) auf handelsübliche Aluminiumtischchen aufgeklebt und mit einer Mikrobedampfungsanlage (Balzers) direkt mit Gold bestäubt ($400 \text{ \AA}$). Die Aufnahmen wurden mit einem Stereoscan S 4 (Cambridge) Rasterelektronenmikroskop gemacht.

3.2. Ergebnisse der Bodenaktivitätsbestimmungen

3.2.1. Keimzahlbestimmungen

Abbildung 8 zeigt die Besiedlungsdichten der verschiedenen Schichten. Dabei wird deutlich, dass die Medien die Pilz- und Bakterienzahl im Plattenguss-Verfahren beeinflussen.

Das Thornton-Medium zeigte geringere Werte und weniger Schwankungen im Vergleich zu den andern Medien. Das Pepton-Medium war am wenigsten spezifisch und ergab die höchsten Werte.

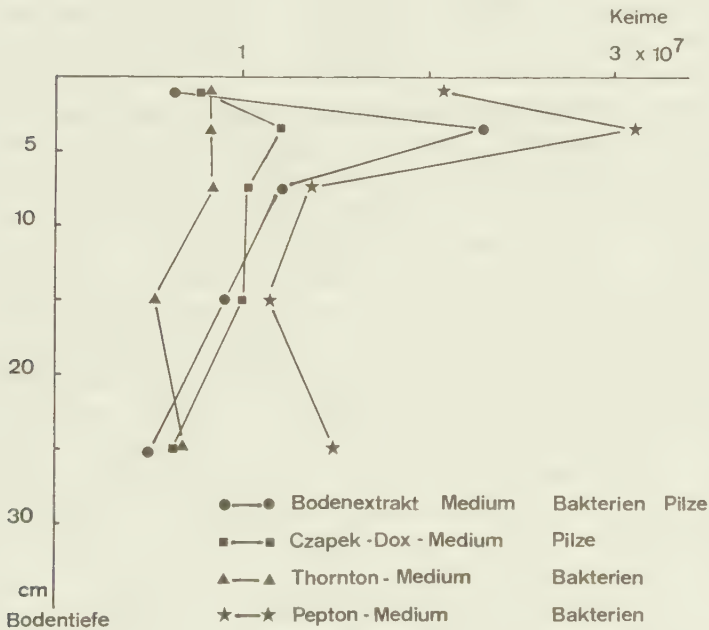


Abbildung 8: Schwankungen der Bakterienkeim- und Pilzzahl eines Nadelwalderdgemisches bei Verwendung verschiedener Isoliermedien (Plattenguss-Verfahren).

Die Pilze haben sich in der Nadelstreu unter der Oberfläche am besten entwickelt. Die aeroben Bakterien bestimmen die darunterliegenden Schichten. Ihre Zahl nimmt auf Kosten der Pilze zu.

3.2.2. CO₂-Gaswechsellmessung

Allgemeines

Während der Bodenaktivitätsmessungen wurde der Wassergehalt kontrolliert. Den Wasserverlust (Verbrauch und Evaporation) ersetzte man wöchentlich (Gewichtskonstanz). Die Mengen, die man den einzelnen Proben verabreichen musste, waren uneinheitlich. Zwischen den Proben mit und ohne Fettsäurezusatz konnten keine charakteristischen Unterschiede festgestellt werden.

Die Aussagekraft der Atmungswerte testete man mit fünf parallelen Ansätzen in den verschiedenen Schichten. Einzelne Proben wichen stark vom errechneten Mittelwert ab. In den aktiven, oberen Schichten betrug die Streuung ungefähr 8%. Ansätze, die wenig CO₂ produzierten, streuten im Mittel um 12%. Ansätze mit wenig Parallelproben aus tieferen, inaktiven Schichten sind demzufolge mit einer grösseren Fehlerquelle behaftet. Gewichts- oder Volumeneinheiten des Bodens beeinflussen die Ergebnisse von CO₂-Produktionsmessungen. In Abbildung 9 ist die mikrobiologische Aktivität zweier Proben der Ueberaumzone Streu-Vermoderungshorizont dargestellt. Gut gemischtes Versuchsmaterial wurde in verschiedenen grossen Portionen (50 g und 100 g) inkubiert. Die Umrechnungen auf $\text{mg CO}_2 \text{ h}^{-1} 100 \text{ g}^{-1}$ Erde ergaben unterschiedliche Werte. Generell verlaufen die beiden Kurven gleich. Die CO₂ Produktion des grosseren Ansatzes (100 g) weist ein vorzeitiges Maximum auf, dem in der Beurteilung Beachtung geschenkt werden muss.

Die Menge des Zusatzes beeinflusst die Bodenaktivität wesentlich (ANNER, 1975). Bei Aktivitätsbestimmungen sollte die zugesetzte Menge möglichst niedrig gehalten werden. Die Versuchsansätze (prozentualer Anteil des Zusatzes) werden zur Hauptsache bestimmt durch das natürliche Vorkommen, die physikalischen Eigenschaften und die Bodenaktivitätsbestimmungsmethoden. In unseren Abbauversuchen wurde die Konzentration durch die Löslichkeit und die Gaswechsellmessung bestimmt.

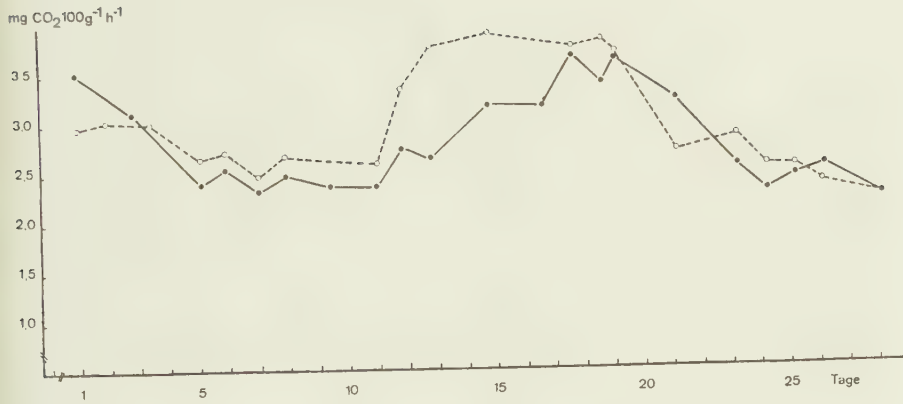


Abbildung 9: CO₂-Produktion von Nadelwalderde der Uebergangszone Streu-Vermoderungshorizont. Unterschiedliche CO₂-Produktion pro 100 g Erde bei verschieden grossen Ansätzen (50 g, 100 g)

○---○ 100 g

●—● 50 g

Abbildung 10: CO_2 -Produktion von Nadelwalderde des Fichtenurwaldes Scatlè
L Streuhorizont (0-2cm) L / F Uebergangszone Streu-Vermoderungs-
horizont (2-5cm)

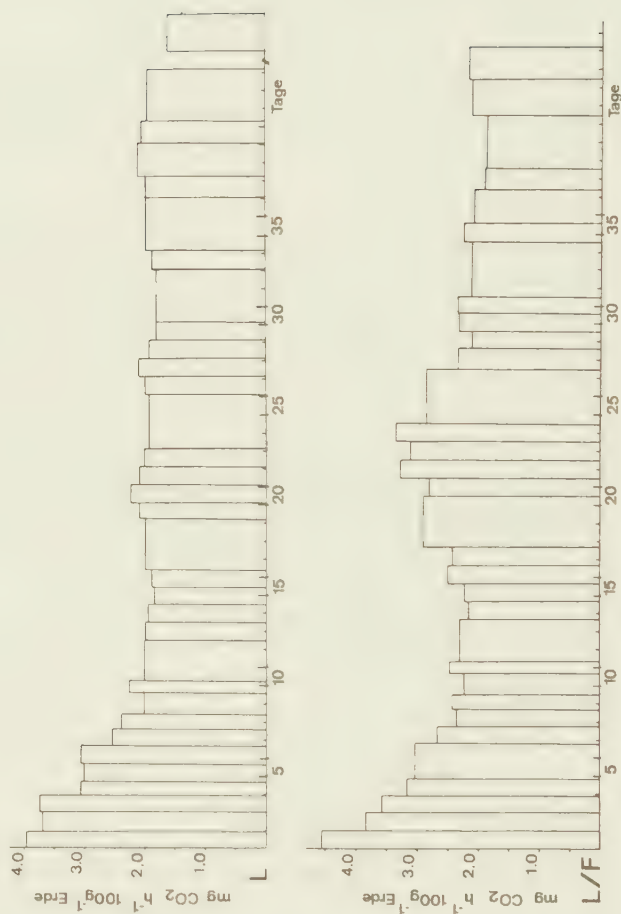
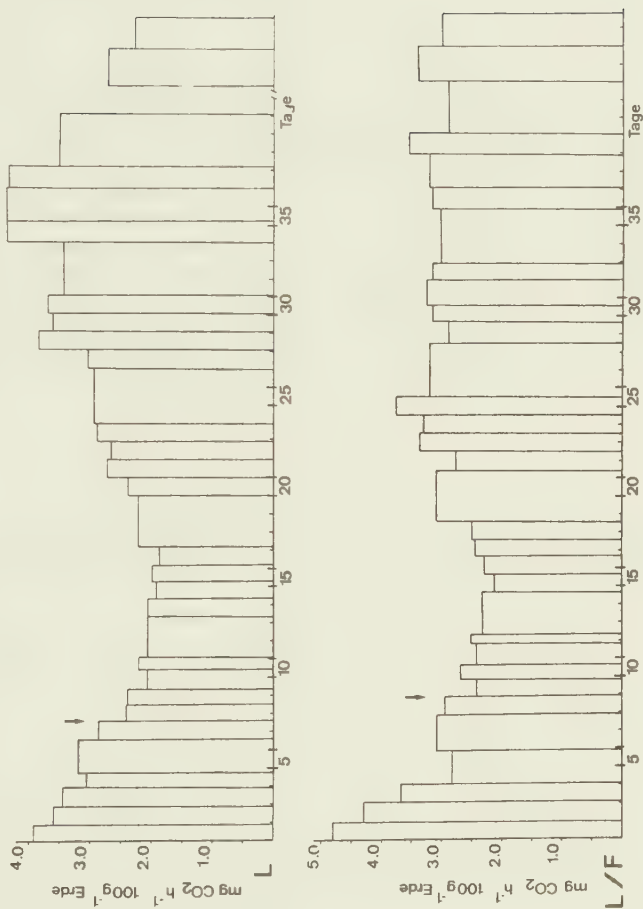


Abbildung 11: CO_2 -Produktion von Nadelwalderde des Fichtenurwaldes Scatlé mit Zusatz von Behensäure.
 ↓ Zusatz von Behensäure (1g pro 100 g)
 L Streuhorizont (0-2cm) L / F Übergangszone Streu-Vermoderungshorizont (2-5cm)



CO₂-Produktion des Streuhorizontes von Nadelwalderde des Fichtenurwaldes Scatlè (L) Abbildungen 10 und 11:

Die Erdproben dieser Schicht produzierten während den ersten Wochen mindestens $1.8 \text{ mg CO}_2 \text{ h}^{-1} 100 \text{ g}^{-1} \text{ Erde}$. Dies erfolgte nach einem anfänglichen CO₂-Ausstoss von beinahe $4.0 \text{ mg CO}_2 \text{ h}^{-1} 100 \text{ g}^{-1} \text{ Erde}$. Während den einzelnen Messperioden konnten Schwankungen festgestellt werden.

Erdproben mit Fettsäurezusatz (1 g pro 100 g Erde) reagierten erst nach ungefähr 10 Tagen mit einer deutlich gesteigerten CO₂-Produktion. Diese Proben erreichten nach 26 Tagen ihr Aktivitätsmaximum. Zu diesem Zeitpunkt atmeten die mit Fettsäure versetzten Bodenproben doppelt so stark wie die Proben ohne Zusatz. Nach 10 Wochen waren die Atemwerte immer noch erhöht. Sie lagen ungefähr 60% über den Werten der Kontrollen.

CO₂-Produktion der Uebergangszone Streu-Vermoderungshorizont von Nadelwalderde des Fichtenurwaldes Scatlè (L / F) Abbildungen 10 und 11:

Die Proben waren zu Beginn des Versuches am aktivsten. Nach ungefähr 6 Tagen pendelten sich die Normalatmungswerte zwischen 1.8 und $3.5 \text{ mg CO}_2 \text{ h}^{-1} 100 \text{ g}^{-1} \text{ Erde}$ ein. Während des Versuches schwankten die Atemwerte einzelner Proben und Messperioden bis über 20%.

Mit Fettsäure versetzte Proben reagierten erst nach 20 Tagen mit einer deutlichen Zunahme der CO₂-Produktion. Ein erstes Aktivitätsmaximum (prozentuale Zunahme circa 50%) konnte nach 22 Tagen beobachtet werden. Zu einem zweiten Maximum kam es nach weiteren 8 Tagen. Diese beiden Aktivitätsphasen waren in dieser Schicht weniger ausgeprägt als in den andern, wo wir eine prozentuale Zunahme um über 100% beobachten konnten.

CO₂-Produktion des Vermoderungshorizontes von Nadelwalderde des Fichtenurwaldes Scatlè Abbildungen 12 und 13:

Schicht 5-10 cm (F 1)

Die Aktivität dieser Bodenprobe ist bedeutend geringer als diejenige der darüberliegenden Schichten. Nach einem anfänglichen Maximum pendelten sich die Atemwerte nach ungefähr 10 Tagen zwischen 0.35 und 0.24 mg CO₂ h⁻¹ 100 g⁻¹ Erde ein. Periodische Schwankungen konnten hier mit unserem Verfahren nicht erfasst werden.

Die CO₂-Produktionsrate der Erdproben mit Behensäure war vom elften Tage an bis zum Versuchsende stets höher als diejenigen der Kontrollen. Diese Proben mit Zusatz steigerten sich bis zur siebten Woche und erreichten ein Aktivitätsmaximum, das knapp 80% höher war als die Atemwerte der Kontrollproben.

Schicht 10-20 cm (F2)

Das Erdmaterial der Schicht 10-20 cm war nach dem Anfangsmaximum geringen Schwankungen unterworfen. Nach 10 Versuchstagen erreichten die Atemwerte die Größenordnung von 0.2 mg CO₂ h⁻¹ 100 g⁻¹ Erde.

Erdproben mit Zusatz von 1% Behensäure wiesen 24 Tage nach der Durchmischung die höchsten Atemwerte auf. In dieser aktivsten Phase produzierten sie mehr als doppelt so viel CO₂ wie die Kontrollen.

CO₂-Produktion des Humusstoffhorizontes von Nadelwalderde des Fichtenurwaldes Scatlè (H) Abbildungen 12 und 13:

Diese Erdproben sind wenig aktiv. Zu Beginn des Versuches produzierten 100 g Erde ohne Zusatz 0.4 mg CO₂ h⁻¹. Diesem anfänglichen Maximum folgte eine Anpassungsphase, bei der sich ein Normwert einstellte. Während längerer Zeit betrugen die CO₂-Atemswerte ungefähr 0.1 mg CO₂ h⁻¹ 100 g⁻¹ Erde.

Die Proben mit Zusatz wiesen gegenüber den Kontrollen die grössten prozentualen Atmungssteigerungen auf. Aus Abbildung 14 ist ersichtlich, dass die Proben mit Fettsäure vier Wochen nach der Zugabe ihr Aktivitätsmaximum hatten.

Abbildung 12: CO_2 -Produktion von Nadelwalderde des Fichtenurwaldes Seattlè

F 1 Vermoderungshorizont (5–10cm)

F 2 Vermoderungshorizont (10–20cm)

H Huminstoffhorizont (20–30cm)



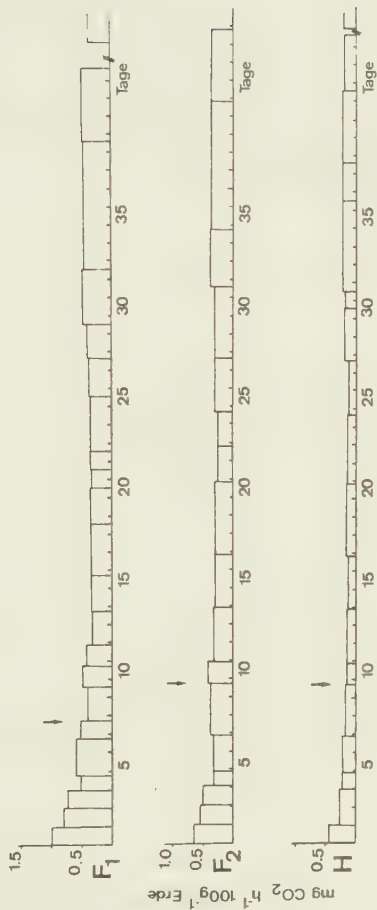
Abbildung 13: CO_2 -Produktion von Nadelwalderde des Fichtenurwaldes Scatiè mit Zusatz von Behensäure

F 1 Vermoderungshorizont (5-10cm)

F 2 Vermoderungshorizont (10-20cm)

H Humusstoffhorizont (20-30cm)

↓ Zusatz von Behensäure (lg pro 100 g)



Prozent. Steigerung

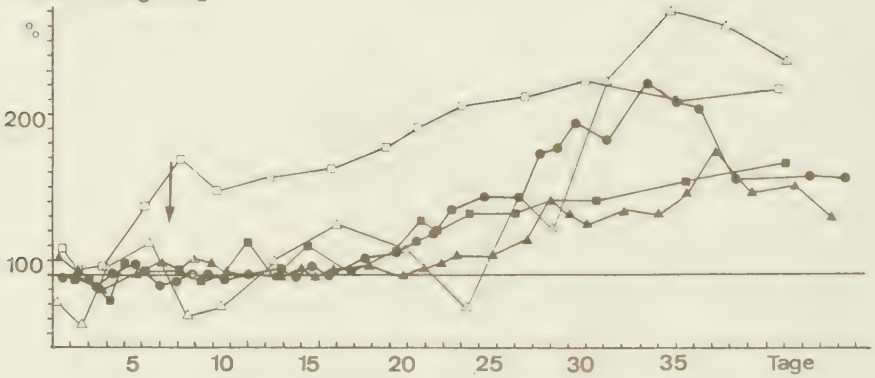


Abbildung 14: CO₂-Produktion von Nadelwälderde (aus Fichtennadelwälder)
 Scatlè in Abhängigkeit von Fettsäure (Behensäure):
 Prozentuale Zunahme (Kontrolle = 100%)

- 0 - 2 cm
- 5 - 10 cm
- △ 20 - 30 cm
- ▲ 2 - 5 cm
- 10 - 20 cm
- ↓ Zusatz von Behensäure
(1 g pro 100 g Erde)

Die Mittelwerte der Ansätze für die Versuchsreihe mit Fettsäurezusatz zeichneten sich vor der Zugabe durch Schwankungen bis zu $\pm 20\%$ über- oder unter den Kontrollen aus. Die Proben der Schichten 10-20 cm und 20-30 cm wiesen grössere Unterschiede auf. Diese Ansätze auf den inaktiven Schichten sind, wie wir festgestellt haben, mit einer grösseren Fehlerquelle behaftet.

Alle Proben produzierten mit Behensäure mehr CO₂. Die einzelnen Schichten unterschieden sich in den verschiedenen langen Anpassungsphasen (= Lag-Phasen). Die Phase bis zum Erreichen des ersten Atmungsmaximum dauerte ebenfalls ungleich lang. Die grössten prozentualen Zunahmen erzielten die Proben der untersten und obersten Schichten. Gestaffelte Aktivitätsmaxima sind aus Abbildung 14 für die Schichten 0-2 cm, 2-5 cm und 20-30 cm ersichtlich.

CO₂-Produktion von Nadelwalderde vom Gottschalkenberg:

In weiteren Versuchsansätzen ermittelten wir die Bodengesamtaktivität von frisch geernteter Nadelwalderde eines ursprünglichen Fichtenwaldes aus 10-20 cm Tiefe in 1 1/2 l -Weckgläsern. Einen Teil der Erdproben vermischten wir mit Alkanen und Fettsäuren der Kettenlänge C₁₈ und C₂₂ (Oktadecan, Docosan, Stearin-Behensäure, Zusätze 5 g, 1 g pro 100 g Erde).

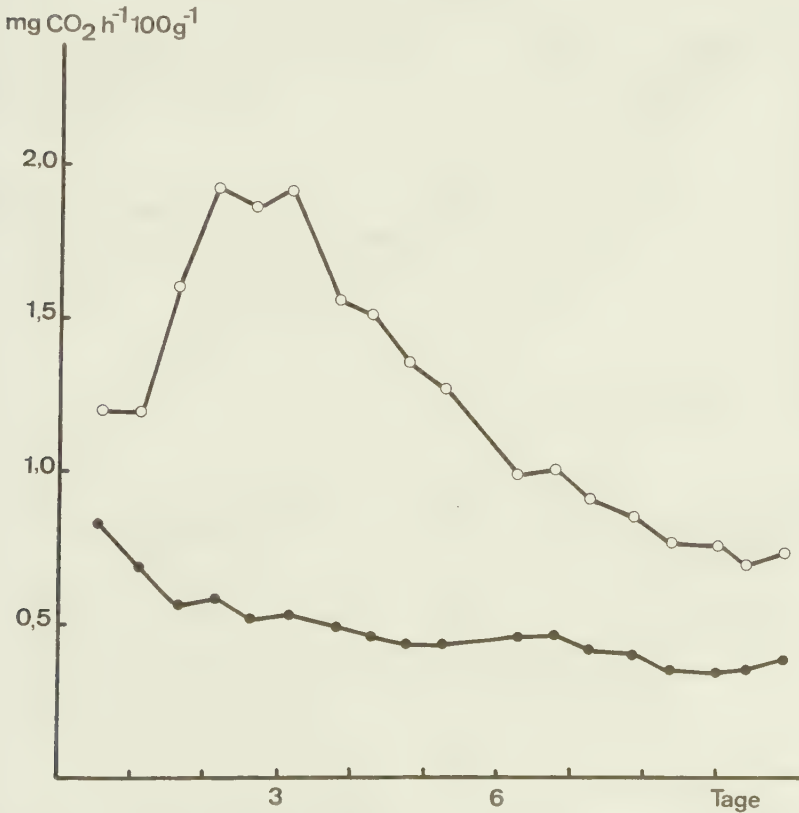


Abbildung 15: CO₂-Produktion von Nadelwalderde vom Gottschalkenberg in Abhängigkeit von Fettsäuren und Alkanen

Versuchsansatz Mai

● Kontrolle

○ techn. Behensäure (5g/100g)

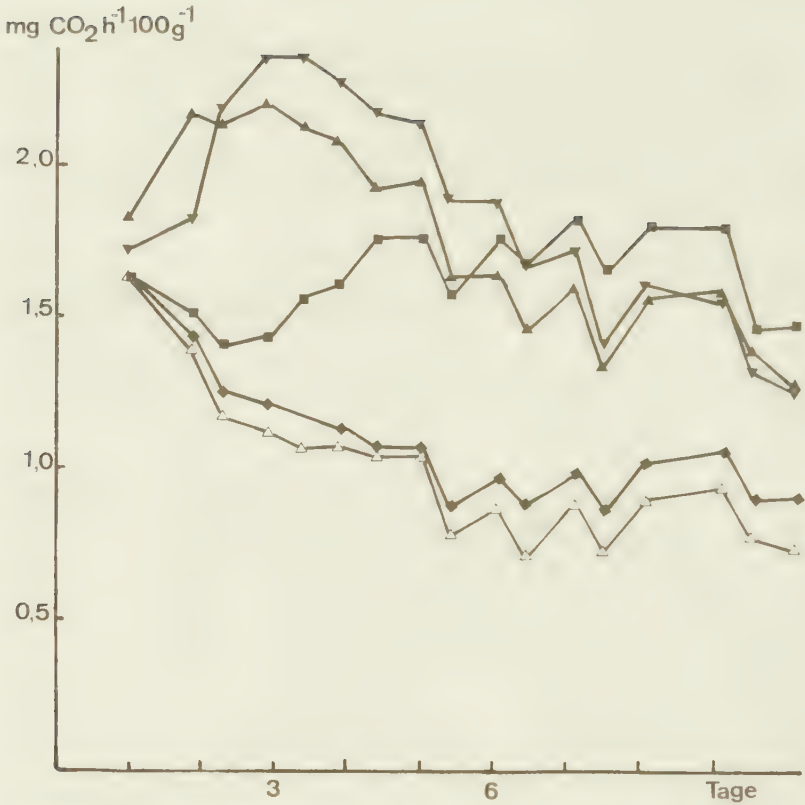


Abbildung 16: CO₂-Produktion von Nadelwälderde vom Gottschalkenberg in Abhängigkeit von Fettsäuren und Alkanen.

Versuchsansatz August:

△ Kontrolle

▲ Oktadecan (1 g /100 g)

▼ Docosan

■ Stearinsäure

◆ Behensäure (puriss.)

Abbildungen 15 und 16 zeigen Atmungswerte (CO₂-Produktion) in Abhängigkeit folgender Parameter: Jahreszeit des Versuchsansatzes, - Art und Menge des Zusatzes. Im allgemeinen nahm die CO₂-Produktion der Versuchsansätze

stetig ab. Die Ansätze der Probeserie mit technischer Behensäure (Abbildung 15) wurden im Mai angesetzt. In dieser Jahreszeit produzierten die Erdproben ohne Fettsäurezusatz nach der Anpassungsphase ungefähr $0.5 \text{ mg CO}_2 \text{ h}^{-1} 100 \text{ g}^{-1} \text{ Erde}$. Im August erreichten vergleichbare Ansätze (Abbildung 16, Kontrolle) Atmungswerte von $1 \text{ mg CO}_2 \text{ h}^{-1} 100 \text{ g}^{-1}$. Die Atmungswerte der mit technischer Behensäure versetzten Erdproben waren bereits am ersten Tage bedeutend höher als diejenigen der Kontrollen. Am zweiten und dritten Tage folgte ein Maximum. Ähnlich deutlich fielen die Atmungsmaxima bei den Ansätzen mit Oktadecan und Docosan aus. In Abbildung 17 ist die prozentuale Zunahme der Atmungswerte gegenüber den Kontrollen dargestellt.

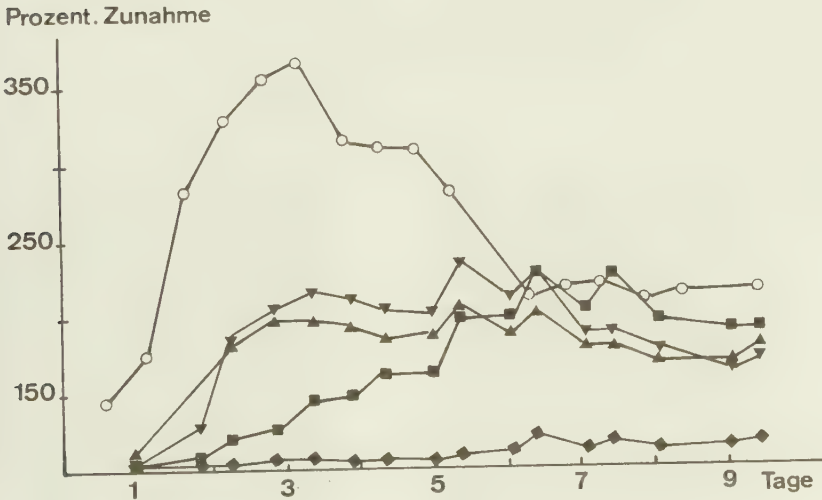


Abbildung 17: CO_2 -Produktion von Nadelwalderde vom Gottschalkenberg in Abhängigkeit von Fettsäuren und Alkanen.
 Prozentuale Zunahme (Kontrolle = 100%)
 Legende: siehe Abbildungen 15 und 16

3.2.3. Aethylenachweis

1977 berichtete BLASCHKE über die Produktion kurzkettiger Kohlenwasserstoffgase von autoklavierter Fichtenstreu. Unser Versuch des Aethylenachweises über den Erdproben der Schichten 0- 30 cm verlief negativ. In der sauerstoffhaltigen Luft des Atmungsgefäßes konnten keine Spuren des erwähnten Gases nachgewiesen werden.

3.2.4. Nadeln und Nadelfragmente im Rasterelektronenmikroskop

Pilzhypen überziehen und umspinnen als eigentliche Rasen die absterbenden Nadeln und Nadelfragmente. Auf Grund von REM-Aufnahmen konnten keine bevorzugten Angriffsflächen der Pilzflora erkannt werden. Zwischen dem weitreichenden Mycel konnten hin und wieder abgefallene Sporen gefunden werden. Eigentliche Sporenlager beobachteten wir keine. Keimende Sporen konnten auch keine ausfindig gemacht werden. Auf dem absterbenden Material der Schichten 0 bis 10 cm suchten wir nach Bakterien, den möglichen Zweitbesiedlern der Nadeloberfläche. Wider Erwarten konnten wir diese Mikroorganismen nicht auf allen Proben beobachten, obwohl Bakterien in allen Schichten durch Keimzahlbestimmungen nachgewiesen werden konnten.

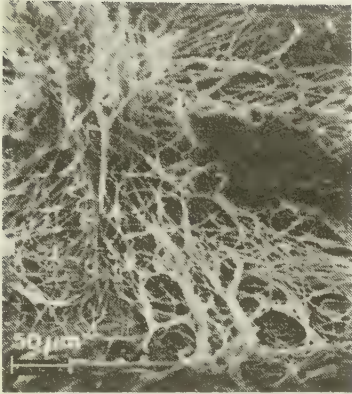


Abbildung 18:
Sicht auf eine pilzbefallene Nadel-
oberfläche der Schicht 0-2 cm. Der
dicke Rasen besteht aus einem un-
übersichtlichen, weitverzweigten
Mycel, das sich in verschiedenen
Entwicklungsstadien befindet.



Abbildung 19:
Pilzhyphe wachsen in die Stoma-
ta der Nadeln hinein und aus ih-
nen heraus (Nadeln der Streu-
schicht).

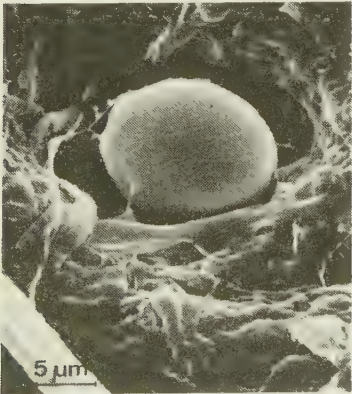


Abbildung 20:
Pilzmycel aus der Fermentations-
schicht. Im Stoma liegt eine ab-
getrennte Spore.

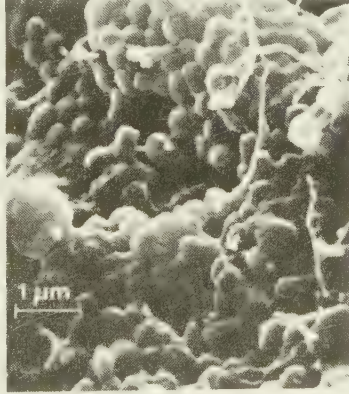


Abbildung 21:
Bakterien besiedeln mit den Pilzen
die Oberfläche der Fichtennadel. Ihr
Vorkommen ist unregelmässig.

3.3. Diskussion

3.3.1. Keimzahlbestimmungen

Die Pilz- und Bakterienzahlen, die mit verschiedenen Medien im Platten-gussverfahren bestimmt wurden, weichen voneinander ab. Ein Medienvergleich fiel zu Gunsten von Czapek-Dox- und Pepton-Medium aus. Sie wirkten am selektivsten.

Pilze spielen nicht in allen Schichten dieselbe Rolle. Dies ergaben die Verhältniszahlen Pilze:Bakterien, die auf Grund der Keimzahlen der Czapek-Dox- und Pepton-Medien ermittelt wurden. Unsere Werte schwankten zwischen 1:2.6 und 1:1.3. MEYER, 1960, ermittelte aus der L-Schicht unter einer Fichte einen Wert von 1:1.5. In der L-Schicht ist die Mikroorganismenzahl relativ gering. Hier ist das abzubauen Material dem wiederholten, kurzfristigen Austrocknen ausgeliefert. Diesen veränderlichen Umweltbedingungen sind nur gewisse Organismen angepasst. Die Bakterienentwicklung in der Übergangszone zwischen dem L- und F-Horizont äusserte sich auch in der pH-Erhöhung (siehe Kap. 2.1.7.). Im eigentlichen F-Horizont mit einem Pilz:Bakterienverhältnis von 1:1.3 konnte man von Auge stark ausgebildetes Pilzmycel beobachten. In dieser Zone entsprach der pH-Wert auch wieder Werten, die den Pilzen zuträglicher sind (SCHLEGEL, 1972).

3.3.2. CO₂-Bestimmung

Bei allen Proben fällt auf, dass die CO₂-Produktion nach einem Maximum am ersten Tag nach und nach abfällt. Die Zusammensetzung der Bodenluft muss sich nach dem Mischen der Erdproben erst einstellen. Nach BIRCH, 1960, werden in dieser Zeit durch die mechanische Bearbeitung freigelegte, leichtlösliche organische Verbindungen veratmet. Nach dem Überschreiten des Maximums erfolgt dann ein Übergang zur Normalatmung. Dieses Einpendeln auf einen Normalatmungswert konnten wir bei unsern Versuchen nach circa 5-6 Tagen beobachten.

Kleine Erdproben erreichen den Normalatmungswert schneller als grössere Ansätze. Die anfänglichen tieferen CO₂-Werte ($\text{mg CO}_2 \text{h}^{-1} 100 \text{g}^{-1}$) in einem grösseren Erdvolumen sind auf die erschwerte Diffusion zurückzuführen. Demzufolge kann dieser Prozess neben andern auch das Auftreten der Aktivitätsmaxima beeinflussen.

Nadelmaterial enthält ein breites Spektrum schwer abbaubarer Stoffe. Der Zusatz der gesättigten Fettsäuren ist nur beschränkt direkt mit dem Nadelfall vergleichbar. Mit Behensäure versetzte Erdproben reagierten wie erwartet "schichtspezifisch". Alle erreichten ein deutliches Aktivitätsmaximum. Dieses stellte sich im Streuhorizont nach vier Wochen, im Fermentationshorizont nach drei Wochen ein. Eine Erhöhung der CO_2 -Produktion um weit über 100% (Mineralerdehorizont), die sich nach etwa vier Wochen einstellte, weist auf ein anpassungsfähiges System hin. Die Aktivität der Proben nahm nach dem Maximum nur sehr langsam ab. Dieses langsame Absinken auf ein niedrigeres Niveau der Normalatmung symbolisiert nach SAUERBECK, 1968, den langsamen Verzehr energiereicher, schwer zersetzbarer Anteile. Unsere Zusätze verschwanden visuell erst nach langer Zeit aus den Proben. Die Kristalle von Fettsäuren waren nach Wochen im Atmungsgefäß noch sichtbar.

Nadelwalderde vom Gottschalkenberg, ein Gemisch mehrerer Schichten, weist einen etwas andern Kurvenverlauf auf. Die prozentuale Zunahme der CO_2 -Produktion des Ansatzes, dem technische Behensäure beigegeben wurde, zeigt ein erstes Aktivitätsmaximum zwischen dem zweiten und dritten Tage. Dann folgen bis zum zehnten Tage Nebenmaxima. Solche traten bei den Erdproben des Fichtenurwaldes Scatlè verschiedener Schichten ebenfalls deutlich hervor. Dieses Merkmal kann man als gestaffelte Aktivität bezeichnen. Es stammt wahrscheinlich von Mikroorganismenarten und -gruppen, die sich im Abbau ablösen. Ueber die Mikroflorenpopulationen beim Streuabbau von Coniferen haben GREMMEN, 1957, KENDRICK, 1958, HAYES, 1965, BRANDSBERG, 1969, u.a. berichtet.

3.3.3. Aethylenachweis

Unsere Ergebnisse stehen scheinbar im Widerspruch zum Aethylenachweis in Fichtenstreu von BLASCHKE, 1977. Eine Anreicherung der flüchtigen C_1 - und C_2 -Kohlenwasserstoffgase über drei und mehr Tage war für unser Gaswechselsystem nicht möglich (überschneidende Peaks von CO_2 und C_2H_4 auf der Poropak Q-Säule). Unter aeroben Bedingungen liess sich in unseren Ansätzen, über nicht autoklaviertem, gesiebttem, gelagertem Material, kein Aethylen nachweisen. Unser negativer Aethylenachweis könnte mit dem Vorhandensein von Sauerstoff über der Probe und zwischen den Erdpartikeln und Pflanzenresten des Versuchsmaterials erklärt werden.

LYNCH, 1979, zeigte, dass die Äthylenproduktion mit der Porenweite, bzw. mit dem Vorhandensein von Sauerstoff korreliert ist. Nach BLASCHKE, 1977, ergibt eine lange Versuchsdauer eine abnehmende Äthylenkonzentration. PERRET, 1980, konnte in beinahe allen ~~anaeroben~~ Erdproben Äthylen nachweisen. Nach unseren Vorstellungen und den Beobachtungen von BLASCHKE, 1977, LYNCH, 1979, und PERRET, 1980, könnte in der Erde des Fichtenwaldes der Vorgang des Fettsäureauf- und abbaues (siehe Kap. 4.3.3.) nur in den anaeroben Zonen und wassergesättigten Schichten von Äthylen gesteuert werden. Die hier diskutierte Äthylenproblematik übt Wechselwirkungen auf Pilze und Bakterien aus, die noch vermehrter Aufmerksamkeit in Bezug auf Porenweite, Äthylenkonzentration etc. bedürften (LYNCH, 1972, 1975, BLASCHKE, 1977).

3.3.4. Pilz- und Bakterienbefall der Nadeln und Nadelfragmente

Die verschiedenen Pilze wurden nicht näher untersucht. Die innere Zersetzung spielt eine untergeordnete Rolle. Das Pilzmycel überwacht die zwischen den Stomata gelegenen Flächen intensiver als die Öffnungen. Elektronenmikroskopisch konnten in der Schicht 2 - 5 cm am ehesten Bakterien gefunden werden. Diese Beobachtung stimmt mit den Keimzahlbestimmungen überein.

4. LIPIDE DER NADELWALDERDE

4.1. Methoden zur Aufarbeitung der Bodenproben für die Fettsäure- und

Alkan-Analyse

Ablösen der Wachse der Nadeloberflächen

Die kutikulären Wachse der Nadeln und Nadelfragmente wurden mit Chloroform abgelöst. Die Nadeln tauchte man dreimal während circa 20 Sekunden ins Lösungsmittel. Die zusammengeschütteten Gemische wurden mit einer G 4-Glasfritte vom Schmutz befreit. Das Filtrat wurde darauf eingeeengt und der Rückstand als rohes Wachs der Nadeloberfläche bestimmt.

Extraktion der Lipide

Für die Untersuchungen wurden zwei bis vier gleichartige Proben einer Schicht verarbeitet.

10-50 g getrocknetes, gesiebtes Erdmaterial (< 1.5 mm) wurde während 72 Stunden im Soxhlet-Apparat mit einem Gemisch Chloroform-Methanol (Volumenverhältnis 2:1) extrahiert. Die Lösung wurde eingeeengt, über Blaugel getrocknet und der Rohlipidgehalt bestimmt.

Zur Ermittlung eventueller Unterschiede am Gesamtfettsäuregehalt wurden Nadeln und Nadelfragmente mit einem Bühler-Homogenisator während 5 Minuten zerkleinert. Vom Homogenat extrahierte man mit dem Soxhlet die Rohlipide nach dem oben beschriebenen Verfahren.

Dünnschichtchromatographie

Alle Chromatogramme wurden mit Kieselgelplatten (DC-Alufolien, Kieselgel 60, 0.2 mm Schichtdicke, Art. 5553 Merck) durchgeführt. Die Extrakte wurden in Chloroform gelöst, mit der aufsteigenden Methode nach HOLLO-WAY und CHALLEN, 1966, aufgetrennt. Als erstes Laufmittel wurde Chloroform verwendet. Zur Auftrennung zurückgebliebener Substanzen der ersten

Chromatographie wurde das Laufmittel Petroläther-Aether-Eisessig, im Verhältnis 70:30:1.5 (RADLER und HORN, 1965) angewendet. Für die Auftrennung der Hydroxyfettsäuren und Fettsäuren (als Methylester) kam das Laufmittel Aether-Hexan-Methanol, 40:10:1, (STOCKER, 1976) zur Anwendung.

Nach dem Entwickeln wurden die Platten mit Rhodamin 6 G besprüht um die Substanzbanden sichtbar zu machen (HOLLOWAY und CHALLEN, 1966).

Mit einem Spatel entfernte man die entsprechenden Kieselgelbanden von den Platten und eluierte die Substanzen mit Chloroform. Die Lösungen wurden nach dem Abfiltrieren zur Trockene eingeeengt.

Für die Veresterung der Fettsäuren bzw. Hydroxyfettsäuren übertrug man die in Chloroform gelosten Säuren in ein Reagenzglas und dampfte dann das Lösungsmittel ab. Die anschließende Veresterung wurde während 2-3 Minuten bei 80°C mit Bortrifluorid-Methanol durchgeführt. Mit destilliertem Wasser wurde die Veresterung gestoppt. Die Trübung zeigte die statt gefundene Reaktion an. Die Ester wurden mit Chloroform ausgeschüttelt, wieder über Blaugel getrocknet und anschließend chromatographiert.

Für die Untersuchungen an verseiften Fettsäuren versetzte man die in Chloroform-Methanol gelosten Rohlipide mit destilliertem Wasser und isolierte aus der organischen Phase Fettsäuren, Alkohole, Alkane etc. (BLIGH und DYER, 1966).

Die alkalische Hydrolyse wurde mit 4% methanolischer Kalilauge während 3 Stunden bei 60°C nach JAMES, 1960, durchgerührt. Nach dem Ansäuern des Hydrolysates mit konz. HCl unter pH 2 und dem viermaligen Ausschütteln mit Chloroform wurden freie Fettsäuren, Alkane und Alkohole extrahiert. Das Auftrennen der Stoffgruppen erfolgte mittels Dünnschichtchromatographie.

Qualitative und quantitative Analyse der Fettsäuremethylester

Die Auftrennung der Hydroxy- und Fettsäuren erfolgte als Methylester. Die aufgearbeiteten Substanzen wurden in wenig Hexan aufgenommen und unter folgenden Arbeitsbedingungen chromatographiert:

Gaschromatograph:	Carlo Erba, Fractovap
	Mod G 1
Kolonne:	1 m Glas, $\varnothing$ 4 mm
Trennmaterial:	Chromosorb W
	AW-DMCS, 80-100 mesh
Trennflüssigkeit:	SE 52, 1.5%, 1%
Arbeitstemperatur:	Einspritzblock: 340°C
	Detektor: 340°C
	Säulen: Alkane 80-280 °C
	FS-MeEster 100-280°C
Aufheizgeschwindigkeit:	7°C Min ⁻¹
Trägergas:	N ₂
Detektor:	FID, H ₂ , Luft
Integrator:	Infotronics CRS 204

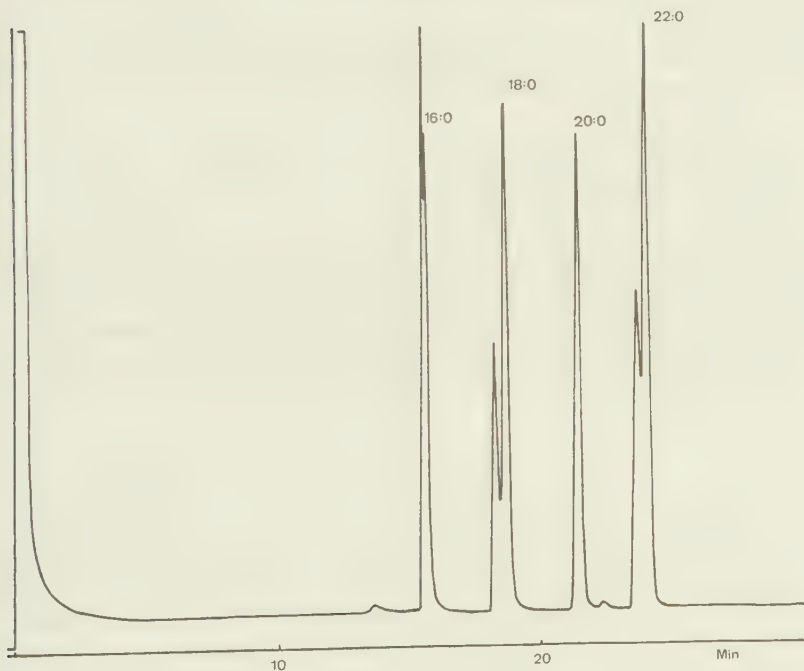


Abbildung 22: Trennung eines Testgemisches auf 1m SE 52, 1.5%,
Chromosorb W

Referenzsubstanzen für die Gaschromatographie stammten von Supelco, Inc. Pennsylvania, USA, und von Aldrich Chemical Company, Inc. Milwaukee, Wisconsin, USA.

Zur quantitativen Auswertung der temperaturprogrammierten Chromatographie wurden die Peakflächen mit dem Integrator Infotronics CRS 204 bestimmt. Auf eine Korrektur der ermittelten Werte (relative Anteile) konnte verzichtet werden (IVERSON, 1970).

Alkanalanalyse

Die Auftrennung der Alkane und Ester erfolgte mit dem Laufmittel Trichloräthylen-Chloroform 75:25, nach SCHUCK, 1972.

Die dünnschichtchromatographisch gereinigten Alkane wurden in Hexan aufgenommen und konnten direkt in den GC eingespritzt werden. Die Peaks der Kettenlänge C_{20} bis C_{40} wurden durch Uebergipfeln identifiziert. Die übrigen ermittelte man durch Interpolation.

Löslichkeit der Wachse auf der Nadeloberfläche

Zur Prüfung der Löslichkeit der Nadelwachse mischte man während 24 Stunden 50 g Nadeln in einem Liter destillierten Wasser. Anschliessend nutschte man das Wasser-Wachsgemisch auf einer G 4 -Glasfritte ab und entfernte so den Schmutz. Das Gemisch unterzog man nach dem Ausschütteln mit Chloroform den vorgängig beschriebenen Arbeitsabläufen.

4.2. Ergebnisse

4.2.1. Extraktion und Löslichkeit

Extraktionsverfahren

Die Fettsäuregehalte von homogenisierten Nadeln und Nadelfragmenten der Streuauflagen waren gegenüber den Gehalten der übrigen, nicht homogenisierten, Extrakte nur leicht erhöht (2%). Diese Ergebnisse zeigten uns, dass mit dem heissen Extraktionsverfahren nahezu alle Fettsäuren herausgelöst werden konnten. Eine spezielle Zerkleinerungsmethode erübrigte sich also.

Löslichkeit der Wachse auf der Nadeloberfläche

Mit destilliertem Wasser wurden verschiedene Stoffe von der Nadeloberfläche gelöst. Das Nadelgewicht verringerte sich nach 24 stündigem Umrühren im Wasser um circa 1/5 des ursprünglichen Gewichtes. Das mit Chloroform aus dem Wasser geschüttelte Gemisch wurde dünnschichtchromatographisch aufgetrennt. Mit diesem Abwaschversuch konnten mengenmässig nur etwa 20% der sonst üblicherweise mit Chloroform abgelösten Fettsäureanteile ermittelt werden. Die schlechte Löslichkeit der langkettigen Fettsäuren verunmöglichte entsprechende qualitative Fettsäurebestimmungen.

4.2.2. Lipidfraktionen verschiedener Standorte

Abbildung 23 zeigt die quantitativen Verhältnisse zweier Standorte im gleichen Areal des Urwaldes Scatlè. Die grössten mengenmässigen Unterschiede finden sich in der Streu und in der teilzersetzten Streu (L- und F-Schicht). Im Rohhumushorizont, den ältesten Schichten, konnten etwa gleich hohe Lipidgehalte ermittelt werden.

Die Anteile der Lipide in Prozenten des Gehaltes der Nadelstreuauflage (Schicht 0-2 cm) verlaufen an den beiden Standorten Scatlè verschieden. Der Lipidgehalt des Standortes SCA 3 nimmt im Gegensatz zu SCA 2 in der Zone zwischen 5 und 20 cm stark ab.

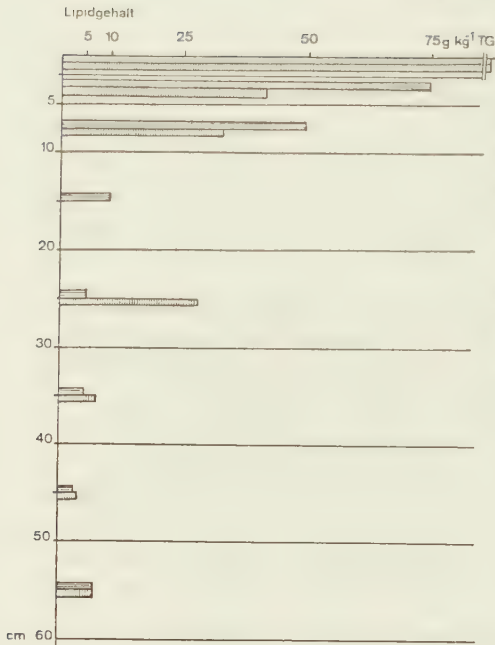


Abbildung 23:

Lipidgehalt der Nadelwalderde
des Fichtenurwaldes Scatlè:

Die Graphik zeigt Mittelwerte
zweier Standorte (SCA 2 und SCA 3)
aus 2-4 Proben der Schichten
0-2, 2-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40
und 50-60 cm.

SCA 2
SCA 3

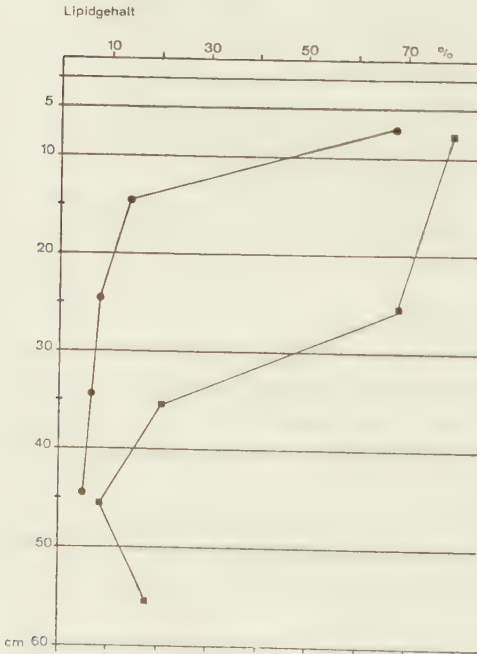


Abbildung 24:

Lipidgehalt der Nadelwalderde
des Fichtenurwaldes Scatlè:

Die Graphik zeigt Berechnungs-
ergebnisse (Lipidgehalt in %
des Gehaltes der Nadelstreuauflage
0-2 cm).

SCA 2
SCA 3

Lipid- und Fettsäuregehalte wurden zur Vervollständigung und Interpretation der Werte auch auf die Anteile der organischen Substanz bezogen. Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse von SCA 3.

Schicht cm	Lipidgehalt in % der org. Substanz	FS-Gehalt in % der org. Substanz
0 - 2	8.6	0.79
2 - 5	6.5	0.77
5 - 10	4.7	0.41
10 - 20	3.8	0.38
20 - 30	0.5	0.27
30 - 40	0.4	0.23

Tabelle 2: Verhältnisse des Lipid-bzw.Fettsäuregehaltes zur organischen Substanz in den verschiedenen Schichten von Nadelwalderde von Scatlè (SCA 3).

Die Lipide nehmen nur einen kleinen Anteil des organischen Materials ein. In den obersten Schichten (0-2 cm, 2-5 cm) sind es 7.5%, in der untersten circa 0.4 %. Ein Erdgemisch aus allen Schichten ergab einen mittleren Wert von 2.7%.

4.2.3. Gesättigte Fettsäuren im Boden

Zuerst wurde abgeklärt, in welchem Masse die Anteile der höheren gesättigten Fettsäuren in einem Urwald schwanken. Die vorliegenden Fettsäureprofile geben einen Ueberblick über die Variabilität der Gehalte der Standorte SCA 2 und SCA 3 desselben Areales. Bei den Daten handelt es sich um Mittelwerte von zwei bis vier gleichartigen Proben des Standortes.

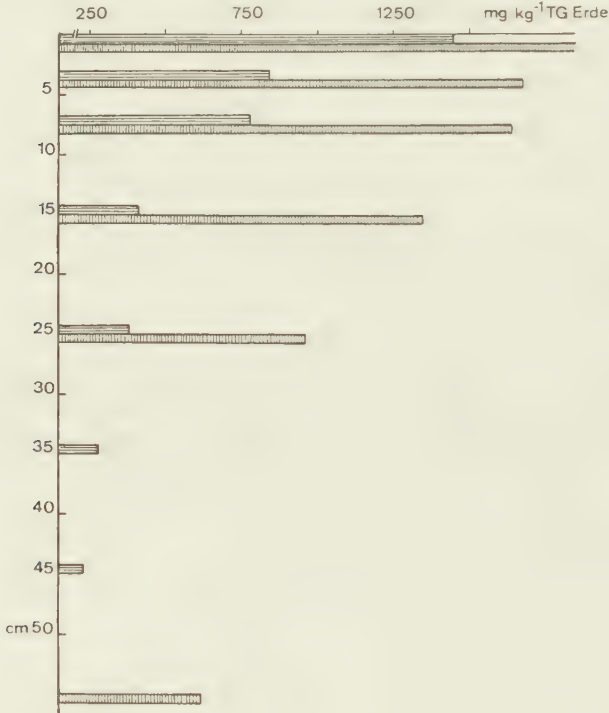


Abbildung 25: Fettsäureanteil der Schichten verschiedener Standorte des Fichtenurwaldes Scatlè (SCA 2 und SCA 3)



SCA 2



SCA 3

Bei den untersuchten Proben nimmt der prozentuale Anteil der Fettsäuren am Lipidgehalt bis in eine Tiefe von 20 cm zu. Dann pendelt sich ein Wert von 6-8 % ein. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Abbildung 26 graphisch dargestellt.

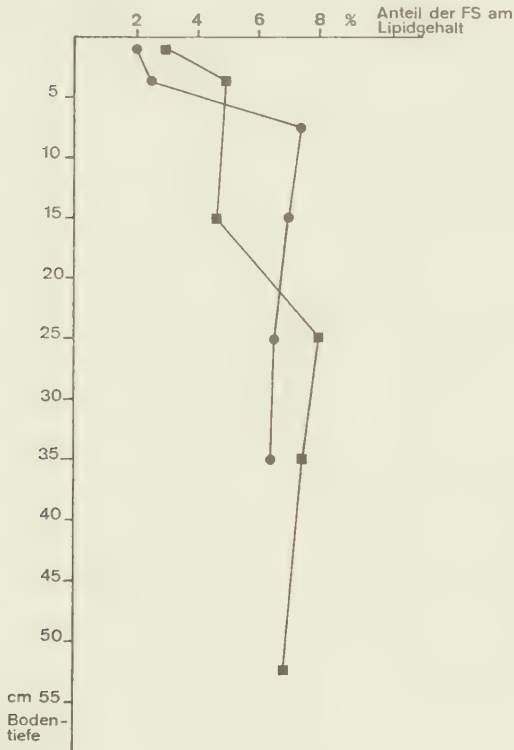


Abbildung 26: Prozentualer Anteil der Fettsäuren am Lipidgehalt der Nadelwalderde Scatlè

■ SCA 2

● SCA 3

Fettsäuremuster eines Profiles

Die Charakterisierung der Profile erfolgte anhand der Ergebnisse der Fettsäureanalysen. Veränderungen in den Oxidationsstufen und Kettenlängen der Fettsäuren sind Indikatoren der Bodenaktivität oder Stoffverlagerungen. Abbildung 27 zeigt das Chromatogramm der Fettsäurefraktion der Probe SCA 2 0-2 cm. Die entsprechenden quantitativen Werte sind in Tabelle 3 enthalten.

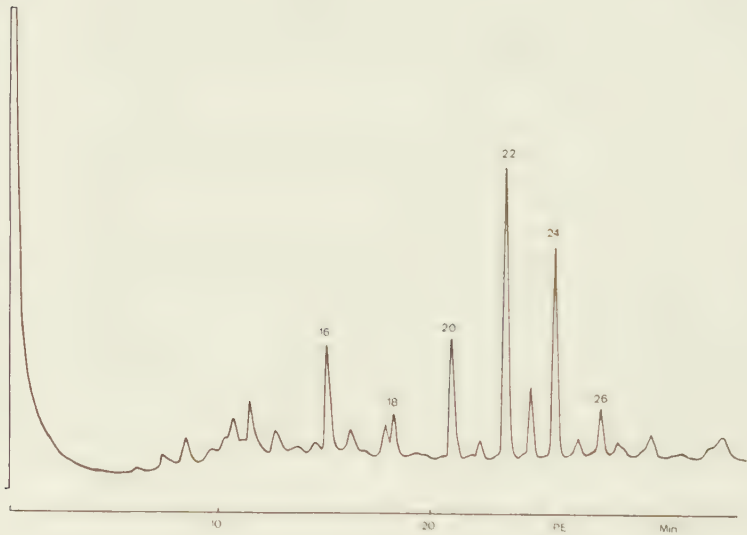


Abbildung 27: Fettsäurefraktion der Probe SCA 2, 0-2 cm des Fichtenurwaldes Scatlè

Die in Tabelle 3 aufgeführten Daten (mg) beziehen sich auf 1 kg getrocknete Erde (Körnung < 1.5 mm) und sind Mittelwerte der GC-Analyse.

Tabelle 3: Gesättigte Fettsäuren von Nadelwalderde im Fichtenurwald

Scatlè. Die Werte (mg) beziehen sich auf 1 kg Erde (TG).

Schicht	SCA 2 0-2 cm	SCA 2 2-5 cm	SCA 2 10-20 cm	SCA 2 20-30 cm	SCA 2 50-60 cm
Kettenlänge					
C ₁₂	60.1	69.4	43.7	4.1	1.6
C ₁₃	50.1	14.4	11.4	2.2	7.3
C ₁₄	61.3	115.6	250.2	14.8	14.1
C ₁₅	28.7	37.9	25.3	22.1	12.7
C ₁₆	94.5	146.1	100.9	109.4	58.2
C ₁₇	30.8	25.1	18.9	49.9	15.3
C ₁₈	38.2	45.5	29.7	46.4	26.2
C ₁₉	8.1	27.4	7.0	16.5	11.6
C ₂₀	97.6	138.9	93.1	88.2	33.7
C ₂₁	11.2	11.3	11.7	19.0	4.3
C ₂₂	255.8	279.0	163.5	141.4	69.5
C ₂₃	63.2	55.3	47.6	28.2	16.4
C ₂₄	181.7	179.6	90.0	105.6	56.0
C ₂₅	18.1	16.8	1.1	8.5	8.3
C ₂₆	41.0	39.4	34.5	23.8	15.8
C ₂₇	19.0	8.8	9.3	3.4	3.4
C ₂₈	32.4	29.0	14.5	20.6	15.1
C ₂₉	7.0	8.4	3.3	4.7	4.5
C ₃₀	52.9	57.9	16.1	34.0	23.1
C ₃₁		13.2		2.0	
C ₃₂	19.3	33.9	29.3	15.0	12.1
C ₃₃				3.6	
C ₃₄				7.0	

Die Anteile der gesättigten Fettsäuren an der Fettsäurefraktion sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

Schicht Fettsäuren	SCA 2 0-2 cm	SCA 2 2-5 cm	SCA 2 10-20 cm	SCA 2 20-30 cm	SCA 2 50-60 cm
FS- fraktion	1412	1483	1211	827	505
n-FS- gesättigt	1171	1352	1002	771	409
Prozent. Anteil	83	91	83	93	81

Tabelle 4: Anteile der gesättigten Fettsäuren an der Fettsäurefraktion von Nadelwalderde verschiedener Schichten des Fichtenurwaldes Scatlè (Mengenangaben der FS-Fraktion und der gesättigten FS in mg pro kg TG).

Die Kettenlängen der Fettsäuren fast aller Schichten variieren zwischen C_{12} und C_{34} . Fettsäuren mit geradzahlicher Kettenlänge sind mengenmässig stärker vertreten als diejenigen mit ungeradzahlicher Kettenlänge. Der prozentuale Anteil der geradzahlichen Säuren schwankt in den Extrakten zwischen 65 und 80%. Die Säuren zwischen C_{12} und C_{15} sind in der obersten Schicht stärker vertreten als in den unteren. In den ältesten Horizonten sind die Säuren zwischen C_{26} und C_{32} starker vertreten als in den darüberliegenden jüngeren. Dies zeigen die Abbildungen 28-34. Die Fettsäuren der Kettenlänge C_{33} und C_{34} liessen sich erst unterhalb einer Tiefe von 10 cm mengenmässig bestimmen. In diesen unteren Schichten nehmen die Laurin-, Tridecan- und Myristinsäure einen geringen prozentualen Anteil ein. Diese Säuren tendieren, aus dem Profil zu verschwinden. Fettsäuren mit ungeradzahlicher Kettenlänge sind weniger starken Schwankungen unterworfen als die geradzahlichen.

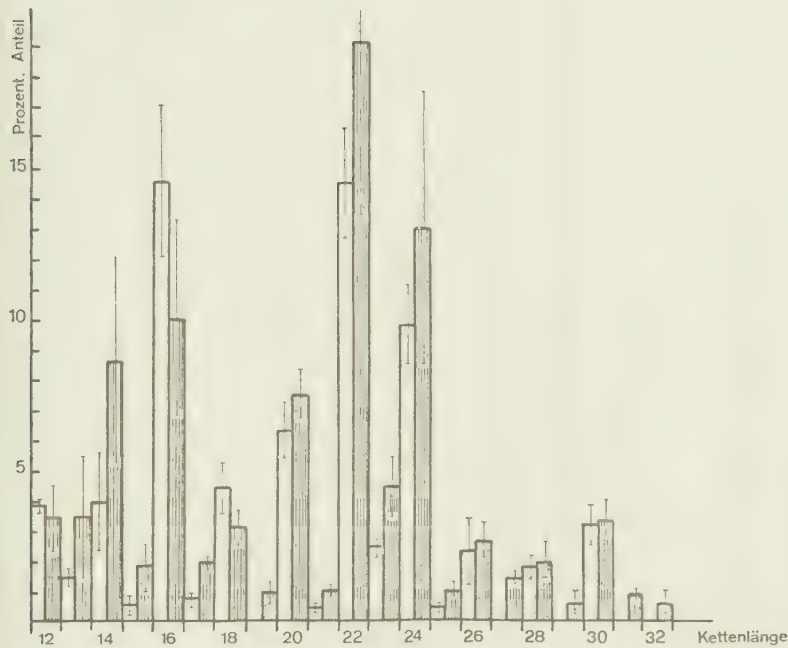


Abbildung 28: Gesättigte Fettsäuren der Schichten 0-2 cm
(Proben SCA 2 und 3) des Fichtenurwaldes Scatlè
Zusammenstellung der prozentualen Anteile:



SCA 2 Prozentualer Anteil der Säuren mit geradzahliger Kettenlänge 73.7%



SCA 3 Prozentualer Anteil der Säuren mit geradzahliger Kettenlänge 65.5 %

Die grössten prozentualen Unterschiede (circa 3-5%) finden sich bei den C_{14} , C_{16} , C_{22} und C_{24} -Säuren. Die Anteile der Säuren mit der Kettenlänge C_{12} , C_{16} und C_{18} des Standortes SCA 3 sind grösser als diejenigen des Vergleichsprofils.

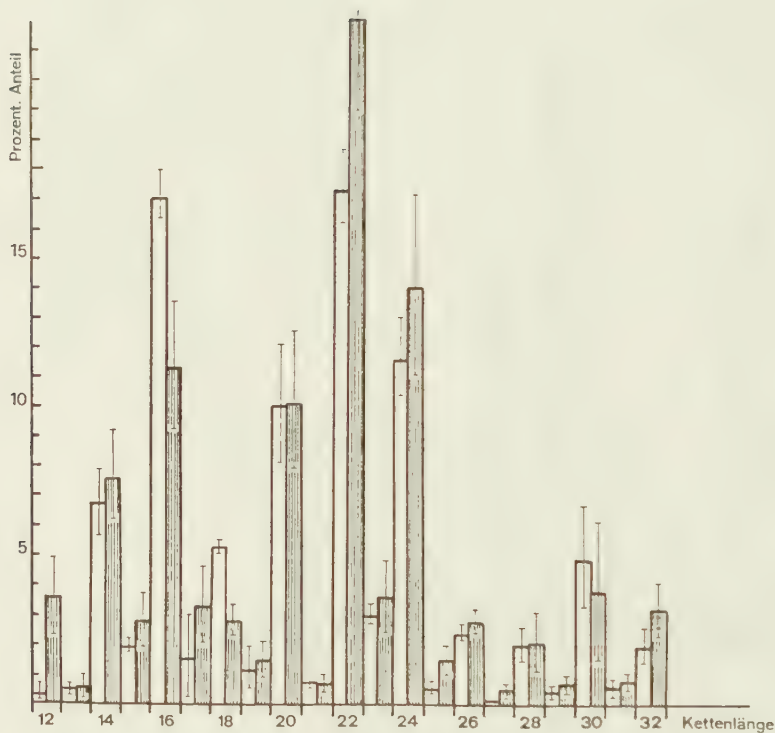


Abbildung 29: Gesättigte Fettsäuren der Schichten 2-5 cm

(Proben SCA 2 und 3) des Fichtenurwaldes Scatlè

Zusammenstellung der prozentualen Anteile:



SCA 2 Prozentualer Anteil der Säuren mit geradzahliger Kettenlänge 84.2%



SCA 3 Prozentualer Anteil der Säuren mit geradzahliger Kettenlänge 79.5%

Die Dodecansäure des Standortes SCA 3 ist die einzige geradzahlige Säure, die mit weniger als 1% vertreten ist. Die meisten ungeradzahligen Säuren weisen einen Anteil von weniger als 3% der Fettsäuren auf.

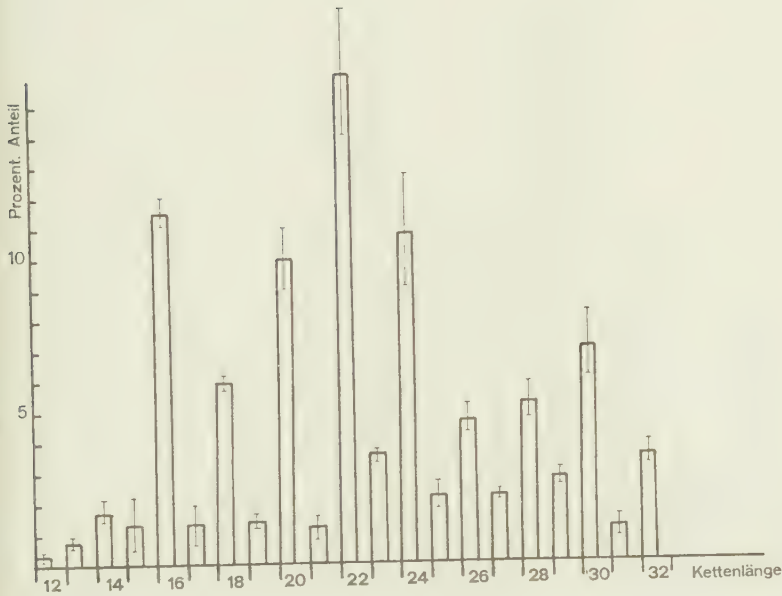


Abbildung 30: Gesättigte Fettsäuren der Schicht 5-10 cm
 (Probe SCA 3) des Fichtenurwaldes Scatlè
 Zusammenstellung der prozentualen Anteile :
 SCA 3 Prozentualer Anteil der Säuren mit geradzahlicher
 Kettenlänge 77.2%

In dieser Schicht dominieren die Fettsäuren der Kettenlänge C_{16} , C_{20} , C_{22} und C_{24} , ihnen folgen dann diejenigen mit 18-, 26-, 28- und 30-C-Atomen.

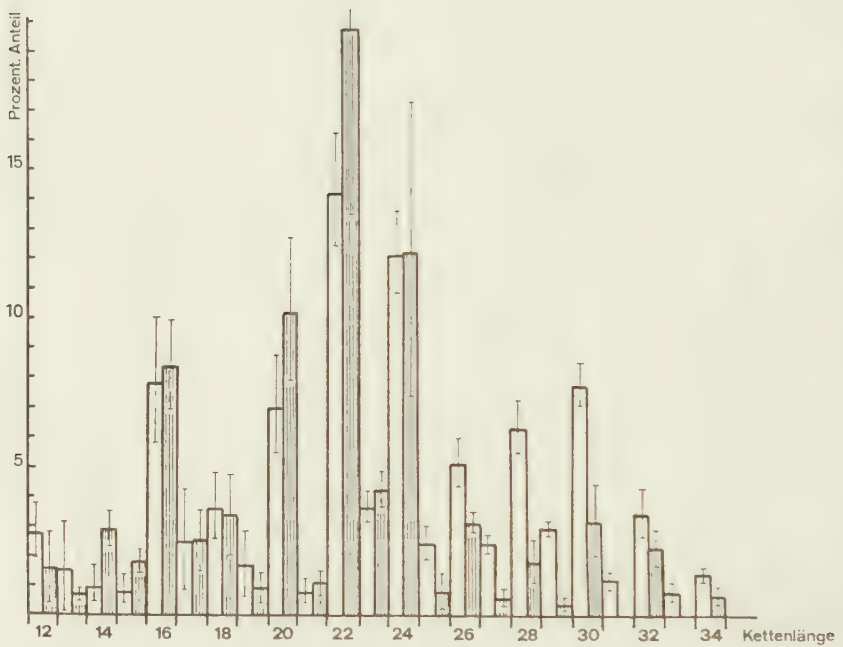


Abbildung 31: Gesättigte Fettsäuren der Schichten 10-20 cm
(Proben SCA 2 und 3) des Fichtenurwaldes Scatlè

Zusammenstellung der prozentualen Anteile :



SCA 2 Prozentualer Anteil der Säuren mit geradzahlgiger Kettenlänge 79.9%



SCA 3 Prozentualer Anteil der Säuren mit geradzahlgiger Kettenlänge 72.4%

Die prozentualen Anteile der Behen- und Lignocerinsäure der beiden Standorte unterscheiden sich stark voneinander. In der Probe SCA 2 erreicht die Behensäure beinahe 20%. Im Profil SCA 3 weisen die Säuren mit der Kettenlänge C_{26} , C_{28} und C_{30} eine höhere Konzentration auf als im Vergleichsprofil SCA 2.

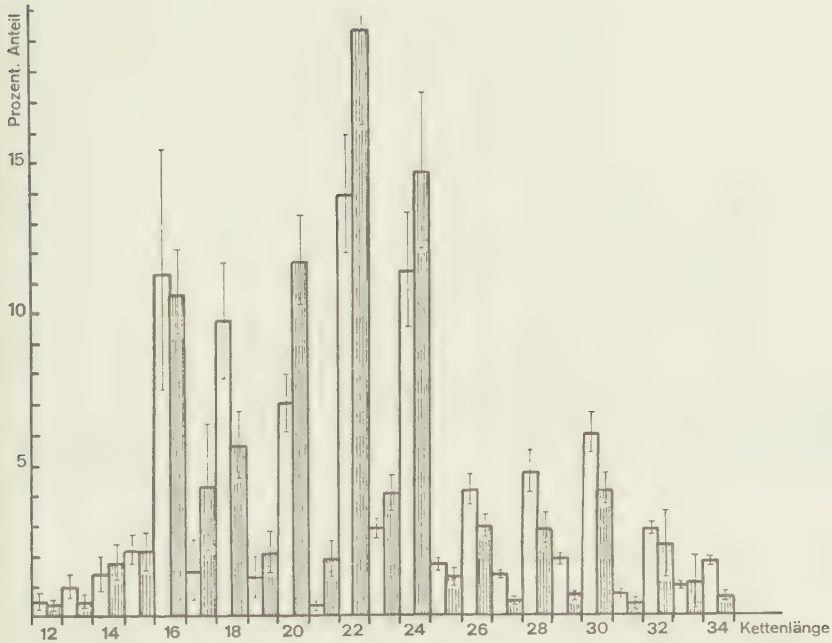


Abbildung 32: Gesättigte Fettsäuren der Schichten 20-30 cm
(Proben SCA 2 und 3) des Fichtenurwaldes Scatlè

Zusammenstellung der prozentualen Anteile:

-  SCA 2 Prozentualer Anteil der Säuren mit geradzahlgiger Kettenlänge 75.5%
-  SCA 3 Prozentualer Anteil der Säuren mit geradzahlgiger Kettenlänge 78 %

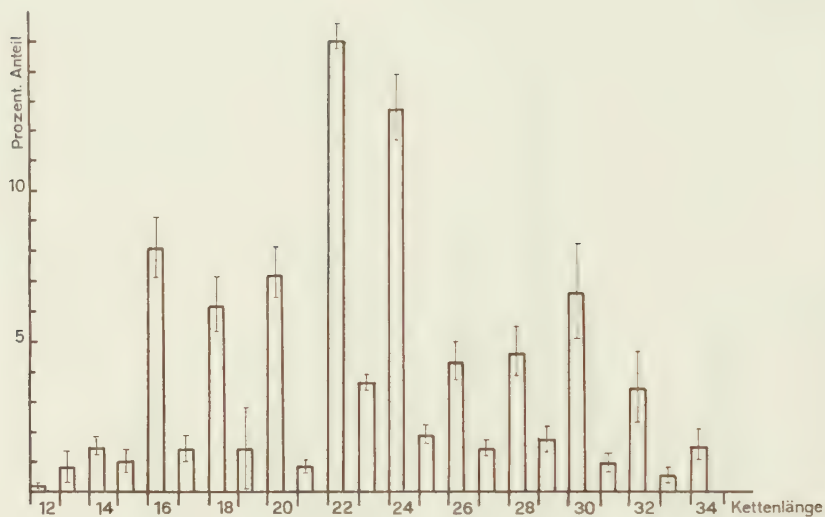


Abbildung 33: Gesättigte Fettsäuren der Schicht 30-40 cm

(Probe SCA 3) des Fichtenurwaldes Scatlè

Zusammenstellung der prozentualen Anteile :



SCA 3 Prozentualer Anteil der Säuren mit geradzahliger Kettenlänge 71.3%

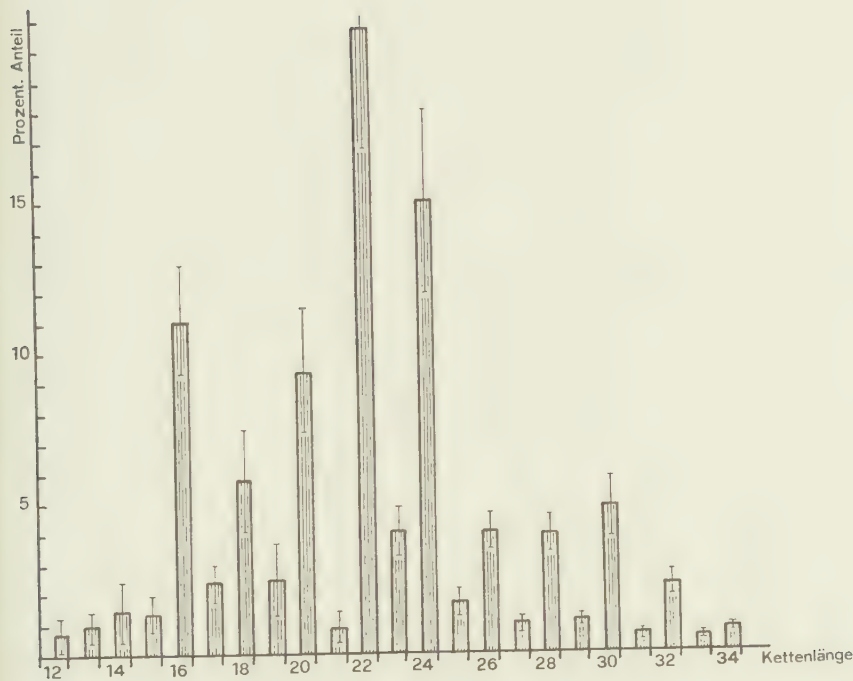


Abbildung 34: Gesättigte Fettsäuren der Schicht 50-60 cm
(Probe SCA 2) des Fichtenurwaldes Scatlè

Zusammenstellung der prozentualen Anteile:



SCA 2 Prozentualer Anteil der Säuren mit geradzahli-
ger Kettenlänge 80.6%

Die mit Chloroform von der Oberfläche gelösten Säuren (siehe Abbildung 35) weisen ebenfalls eine Dominanz der Substanzen mit der Kettenlänge C_{22} und C_{24} auf. Ferner betragen die Anteile der Palmitin- und Arachin- säure mehr als 10% . Die geradzahli- gen Säuren der Kettenlänge $C_{12}-C_{34}$

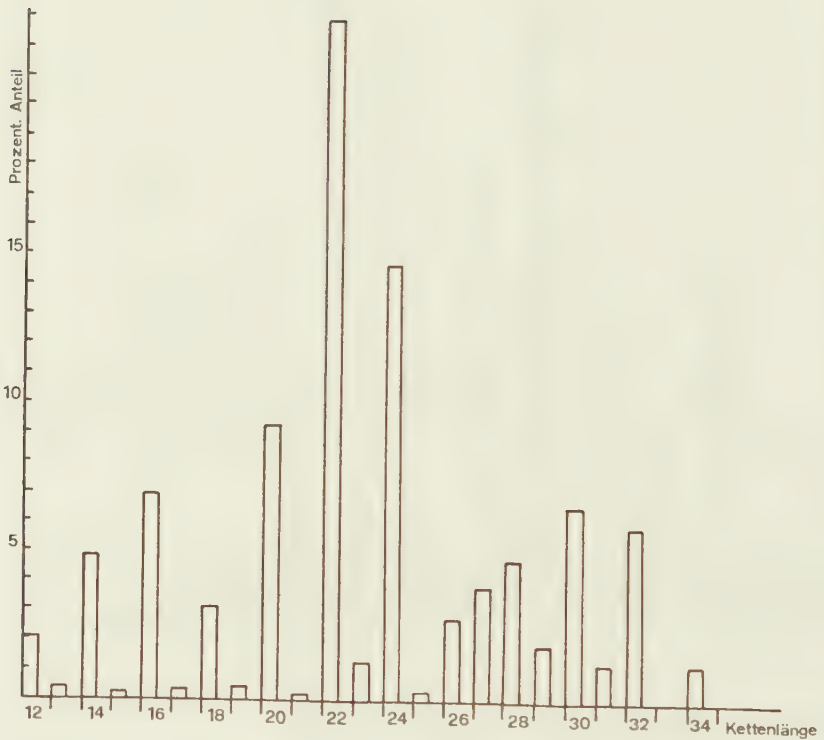


Abbildung 35: Gesättigte Fettsäuren der Oberfläche von Nadeln der
Schicht 0-2 cm (Probe SCA 3) des Fichtenurwaldes Scatlè
Zusammenstellung der prozentualen Anteile:

SCA 3 Prozentualer Anteil der Säuren mit geradzahliger
Kettenlänge 78.1%

kennzeichneten sich mit dem kalten Extraktionsverfahren mit einem
höheren Anteil aus als beim Vorgehen mit der Soxhlet-Methode.

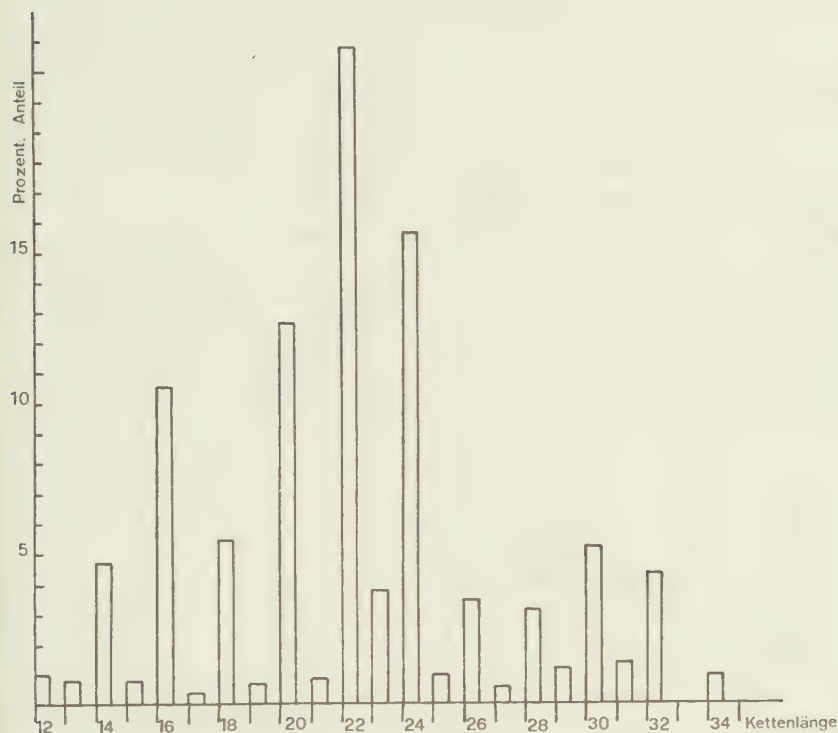


Abbildung 36: Gesättigte Fettsäuren der Oberfläche von Nadeln und Nadel-
fragmenten der Schicht 2-5 cm (Probe SCA 3) des Fichtenur-
waldes Scatlè

Zusammenstellung der prozentualen Anteile:

SCA 3 Prozentualer Anteil der Säuren mit geradzahliger
Kettenlänge 89.6%

Die geradzahligen Fettsäuren können hier ebenfalls in 3 Gruppen einge-
teilt werden. Mit über 20% dominiert die C_{22} -Säure in der Uebergangszone
Streu-Vermoderungshorizont. Einen prozentualen Anteil von 10-16 %
weisen die Palmitin-, Arachin- und Lignocerinsäure auf. Mit weniger als

6% sind die übrigen geradzahigen zwischen C_{12} und C_{34} im gereinigten, Chloroformextrakt (Abwaschmethode) vertreten.

Behensäuregehalt im Bodenprofil

Aus den vorangehenden Tabellen und Abbildungen ist ersichtlich, dass bei den langkettigen Fettsäuren die Behensäure dominiert.

Abbildung 37 zeigt die mengenmässige Verteilung dieser Substanz am Beispiel des Standortes SCA 3. In der untersten untersuchten Schicht kommt es mengenmässig zu einer geringen Akkumulation. Wenn wir allerdings die Verteilung dieser Säure den übrigen gesättigten Fettsäuren gegenüberstellen, fällt auf, dass der prozentuale Anteil der Behensäure nur geringe Schwankungen erfährt und entlang dem Profil mehr oder weniger gleich bleibt.

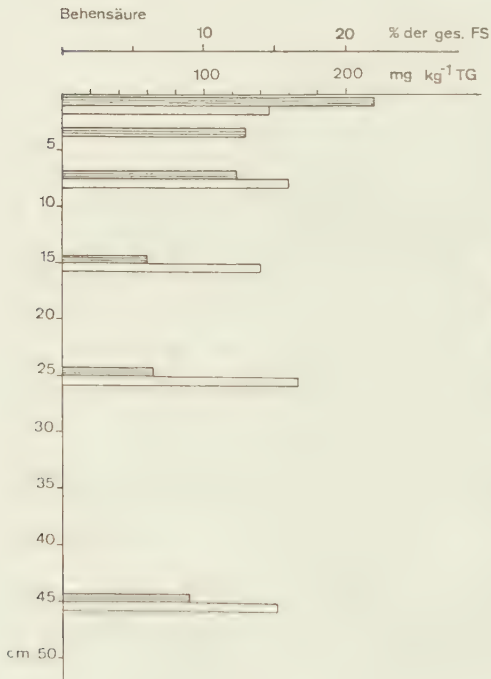


Abbildung 37:
Behensäure im Profil
der Nadelwalderde Scatlè
Mengenmässige Verteilung
in mg kg^{-1} Erde TG.
Prozentualer Anteil
der Behensäure gegen-
über den übrigen ge-
sättigten Fettsäuren

Demzufolge werden die Fettsäuren entlang dem Profil mehr oder weniger gleichmässig abgebaut. Wir versuchten nun, auf Grund der Analysen einen Trend für den Abbau der langkettigen Fettsäuren zeigen zu können. Mit den prozentualen Anteilen der C_{22} - und der andern Säuren bildeten wir einen Quotienten. Abbildung 38 zeigt die unterschiedlichen Verhältnisse der Standorte SCA 2 und SCA 3.

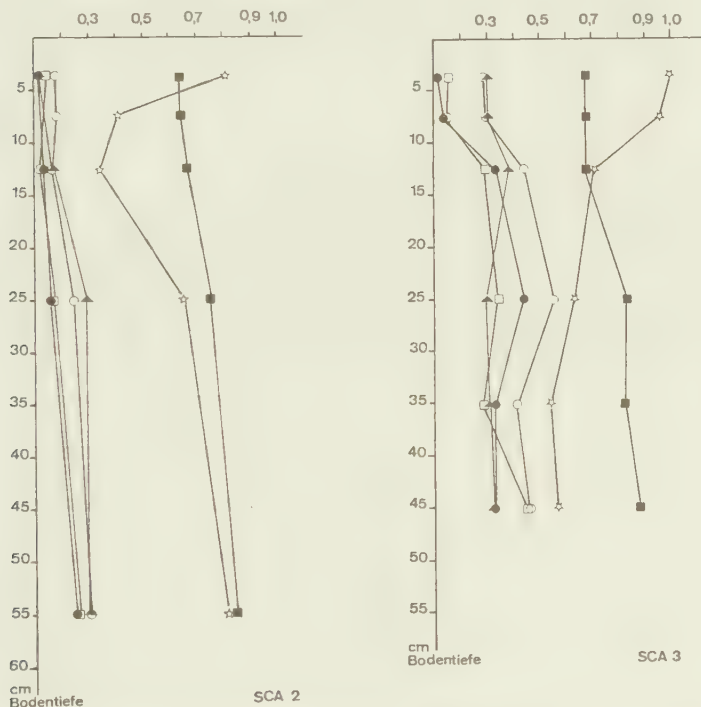


Abbildung 38: Verhältnisse verschiedener gesättigter Fettsäuren gegenüber C_{22} der Standorte SCA 2 und SCA 3 im Fichtenurwald Scatlè

$$\begin{array}{ll} \star \frac{\text{Prozentualer Anteil von } C_{16}}{\text{Prozentualer Anteil von } C_{22}} & \blacktriangle \frac{C_{18}}{C_{22}} \\ \blacksquare \frac{C_{24}}{C_{22}} & \square \frac{C_{26}}{C_{22}} \quad \bullet \frac{C_{28}}{C_{22}} \quad \circ \frac{C_{30}}{C_{22}} \end{array}$$

Aus Abbildung 38 ist ersichtlich, dass vom F- bis zum A-Horizont der Anteil der Fettsäuren mit der Kettenlänge $> C_{22}$ ständig leicht zunimmt. Somit sind über dem Silikatgestein prozentual mehr langerkettige Fettsäuren vorhanden als im Streuhorizont. Uneinheitlich verhalten sich Palmitin- und Stearinsäure. In den beiden dargestellten Profilen sinkt z.B. der Anteil der C_{16} -Säure in der L- und F-Schicht. Aus den beiden Darstellungen sind die standörtlichen Unterschiede wieder deutlich ersichtlich.

4.2.4. Fettsäuremuster von Fichtenaestchen und-nadeln

Mit dem Nadelfall wird nicht nur Nadel- sondern auch Astmaterial in die Humifizierungsprozesse integriert. Der Gehalt und die Zusammensetzung der organischen Substanz, Lipide und Fettsäuren variieren bei den Aestchen und Nadeln beträchtlich. In Abbildung 39 ist das Gaschromatogramm der FS-Methylester der Fichtenaestchen der obersten Schicht der Streuschicht wiedergegeben.

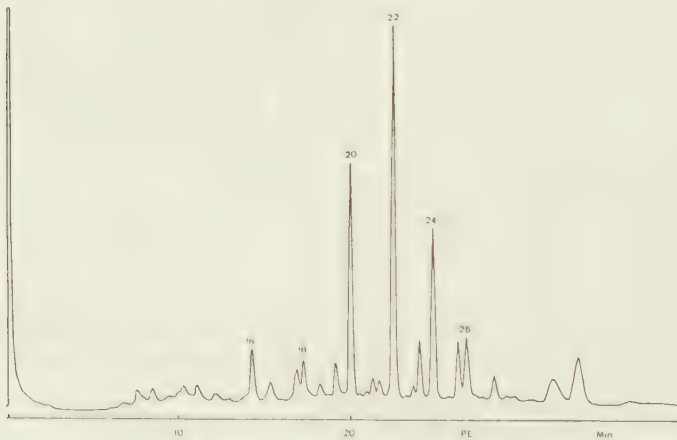


Abbildung 39: Gaschromatogramm der FS-Methylester von Fichtenaestchen (mit einem Durchmesser bis 0.5 cm) der Schicht 0-2 cm, Fichtenurwald Scatlè. Die Extraktion erfolgte mit der Soxhlet-Methode.

Tabelle 5: Fettsäuremuster von Fichtenaestchen und Fichtennadeln des
Fichtenurwaldes Scatlè

Fettsäure Kettenlänge	Fichtenaestchen Prozent.Anteil	Fichtennadeln Prozent.Anteil
C ₁₂	0.8	0.8
C ₁₃	0.9	1.5
C ₁₄	0.8	9.1
C ₁₅	0.7	-
C ₁₆	4.1	17.8
C ₁₇	1.7	0.7
C _{18:0}	3.1	3.6
C _{18:1}	2.7	2.5
C ₁₉	2.2	0.4
C ₂₀	15.5	4.9
C ₂₁	0.7	0.6
C ₂₂	26.1	12.0
C ₂₃	0.7	2.2
C ₂₄	11.6	14.5
C ₂₅	-	1.0
C ₂₆	5.2	7.7
C ₂₇	-	-
C ₂₈	1.8	4.8
C ₂₉	-	-
C ₃₀	3.6	6.2
C ₃₁	-	0.3
C ₃₂	-	2.8
nicht ident.	17.8	6.6

In den Tabellen 5 und 6 sind die prozentualen Anteile der organischen Substanz, der Lipide und der Fettsäuren zusammengestellt.

Tabelle 6: Gehalt an organischer Substanz, Lipiden und Fettsäuren von Fichtenaestchen und- nadeln des Fichtenurwaldes Scatlè

	Fichtenaestchen		Fichtennadeln	
	g kg ⁻¹ TG	%	g kg ⁻¹ TG	%
Org. Substanz		82.6		91.7
Lipidfraktion	50.802	100.0	199.420	100.0
Fettsäurefrakt.	7.694	15.1	18.965	9.5
Fettsäuren ges.	1.466	2.8	3.935	3.0

4.2.5. Hydroxy-Fettsäuren in der Streuschicht

Mit dem Laufmittelgemisch Diaethylaether-Hexan-Methanol (40:10:1), (EGLINTON und HUNNEMAN, 1968) konnten die Fettsäuren von den Hydroxy-fettsäuren getrennt werden. Damit gelang es, die von HAESLER, 1974, als Monohydroxyfettsäure beschriebene unbekannte Substanz von den gesättigten Fettsäuren zu trennen. Eine vollständige Reinigung gelang nicht. Durch Uebergipfeln und Interpolieren mit Referenzsubstanz (C₁₆) und isolierten Hydroxyfettsäuren von *Pinus silvestris* (HERBIN und ROBINS, 1969) wurden die Hydroxyfettsäuren als 16-Hydroxypalmitinsäure (Juniperinsäure) und 14-Hydroxytetradecansäure (Hydroxymyristinsäure) bestimmt. Der Anteil dieser Substanzgruppe betrug nur 0.43 g kg⁻¹ TG Erde. Die Ergebnisse der Streuschicht weichen stark von den Resultaten der Fichtennadeln ab. Wir ermittelten die in Tabelle 7 zusammengestellten Anteile.

Kettenlänge	Nadeln	Streu
C ₁₂	10%	7%
C ₁₄	80%	47%
C ₁₆	9%	46%

Tabelle 7: Prozentuale Zusammensetzung der ω -Hydroxyfettsäuren von Nadeln und Streu des Fichtenurwaldes Scatlè

4.2.6. Alkane in Fichtenwalderde

Die aus drei Profilschichten isolierten Paraffine aus verseiften Proben konnten bei der gaschromatographischen Analyse wegen der nicht aliphatischen Kohlenwasserstoffe kaum quantitativ erfasst werden. Trotzdem gelang es, die aus der unruhigen Grundlinie herausragenden n-Alkane qualitativ zu bestimmen. Dabei stellten wir fest, dass in den obersten Schichten dieselben n-Alkane (C_{16} - C_{33}) vorkommen wie in den untersten. Ein klares Vorherrschen ungeradzahliger oder geradzahliger Kettenlängen konnte nicht festgestellt werden. Die Hauptkomponenten der Alkane des Picea abies- Bodenprofiles liegen zwischen C_{17} und C_{21} .

4.3. Diskussion

4.3.1. Löslichkeit der Wachse auf der Nadeloberfläche

Die Löslichkeit der undissoziierten Fettsäuren müsste nach BELL, 1973, für die vorkommenden Säuren (C_{12} - C_{34}) zwischen 10^{-4} und 10^{-16} mol Liter liegen (bei 25°C , dest. Wasser). Mit unserem Abwaschversuch (Löslichkeit der Wachse von der Nadeloberfläche) konnten wir nur geringste Mengen von der Oberfläche der Nadeln lösen. Ein Fettsäure-Transport mit dem Wasser von den intakten Nadeln auf den Boden und aus der Nadelstreu in die unteren Schichten muss auf Grund unserer Ergebnisse ausgeschlossen werden.

Die Löslichkeit der Fettsäuren soll, wiederum nach BELL, 1973, nicht pH- abhängig sein. Für verschiedene Temperaturbereiche und biochemische Einflüsse fehlen entsprechende Angaben. Trotzdem muss im komplexen System Boden mit vorderhand unbekannten Lösungshilfen (z.B. natürliche Detergentien, Exoenzyme) gerechnet werden, die eine Verlagerung der Fettsäuren begünstigen könnten. Ein entsprechendes Depot konnte in der untersten Schicht nicht nachgewiesen werden. Die langkettigen Substanzen im untersten Teil des Profiles sind Ablagerungen vorläufiger Umbau- oder Endprodukte.

4.3.2. Abbauleistungen der Nadelwalderde

Bei der Untersuchung der Abbauleistungen der Nadelwalderde stellte sich die Frage, ob das organische Material der einzelnen Schichten gleich schnell abgebaut wird, wie die verschiedenartig und z.T. komplex gebauten Lipide der Blattorgane (MARTIN und JUNIPER, 1970). Wir suchten nach der Stellung der langkettigen Fettsäuren im Boden. Deshalb verfolgte man den Gehalt an organischem Material, an Lipiden und an Fettsäuren in den Schichten. Bei der Betrachtung gingen wir von folgenden Annahmen aus:

- Es fanden keine Umschichtungen statt: kein anthropogener Einfluss, keine Würmer, die Erde aus unteren Schichten an die Oberfläche hätten befördern können. Hinweise auf Wurmtätigkeit fehlten (Gänge, Losung).

- Pro Zeiteinheit (Zeit zwischen zwei Nadelfällen) wurde überall gleich viel Material auf die Streuschicht abgelagert (Gehalt an organischer Substanz etc. der L- Schicht bei Nadelfall stets konstant).
- Auf die L-Schicht fallen Nadeln mit gleicher biochemischer Zusammensetzung, obwohl diese sich, nach SCHUCK, 1976, im Laufe der Jahre verändert (durchschnittliches Fichtennadelalter: 5 Jahre, SCHULZE, 1979).

Auf Grund der oben angeführten Annahmen setzten wir bei den Ausrechnungen des Abbaues die Werte auf der Zeitachse gleich denjenigen der Bodentiefe (siehe Abbildung 40). Diese stellten wir dann den prozentualen Gehalten (Mittelwerte aller Standorte) von Fettsäuren etc. gegenüber. Damit konnten wir anhand der Regressionsgeraden keinen einfachen exponentiellen, sondern einen zweiphasigen exponentiellen Abbau erkennen (Abbildung 40).

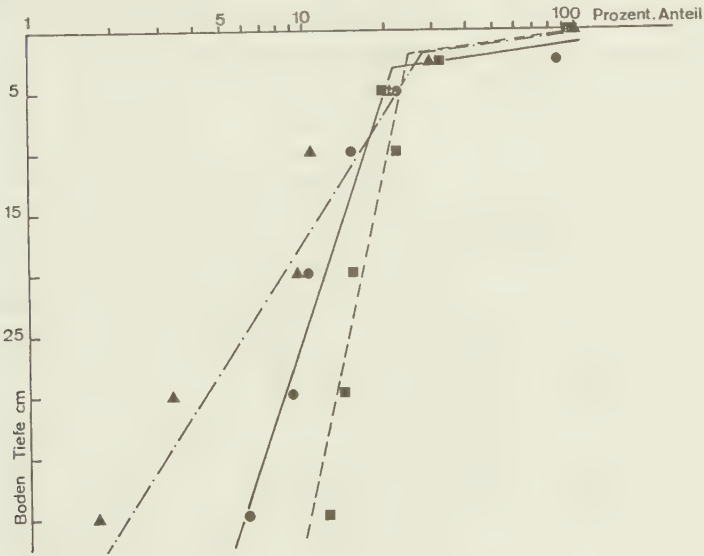


Abbildung 40: Zweiphasiger Abbau der Nadelwalderde

Die Darstellung zeigt die Regressionsgeraden der Mittelwerte des Gehaltes an organischer Substanz etc. der Fichtenwalderde Scatlè

● Org. Substanz ▲ Lipide ■ ges. Fettsäuren

Die erste Phase entspricht dem rascher ablaufenden aeroben Abbau. Die Degradation verläuft bei der organischen Substanz, den Rohlipiden und den Fettsäuren mit gleicher oder ähnlicher Abbaurate. Dies ist verständlich, wenn man bedenkt, dass in Wirklichkeit die Wachsüberzüge der Nadeln zuerst aufgebrochen und demzufolge z.T. abgetragen werden müssen, bevor die rascher ablaufende Zersetzung von Hemicellulose, Cellulose, Lignin etc. beginnen kann (MINDERMAN, 1968).

Frisches L-Material wird nicht gleich zu Beginn der ersten Phase durch Pilze und Bakterien angegriffen. Aus unseren Ergebnissen geht dies aus der Abbaukurve des organischen Materials hervor (geringer Verlust in der L-Schicht). Die Nadelfragmente der Uebergangszone der L/F-Schicht sind leichter für die mikrobielle Energiegewinnung zugänglich als das intakte Material, das auch noch der Meso- und Mikrofauna ausgesetzt ist. Die zweite Phase des Abbauprozesses verläuft langsamer. Dies beruht weniger auf leistungsschwächeren Keimen als auf der Erschöpfung der leicht spaltbaren Substanzen. In unseren Atmungsmessungen mit Zusatz konnten wir ja zeigen, dass die Proben der unteren Schichten in der Lage sind, eine Verdoppelung der Atmungstätigkeit zu erzielen (siehe Abbildung 14). Wenn wir in der C-Schicht eine Akkumulation von langkettigen Säuren feststellten, so könnte dies auf eine ungenügende Sauerstoffversorgung zurückgeführt werden. PATRICK, 1971, SPRINGER und LEHNER, 1952 und LUKOSHKO, 1965, wiesen auf entsprechende Organismen und Umgebungsfaktoren hin, die für die Akkumulation der Bodenlipide eine Rolle spielen können. Zusammenhänge über Substrat-Wasser- und Sauerstoffverhältnisse, die nach BLUMER und SASS, 1972, und BUTLER, 1975, einen Abbaublauf gewährleisten können, wurden in unserem Falle nicht untersucht.

LAMB, 1976, stellte beim Nadelabbau von *Pinus radiata* in der L- und F/H-Schicht einen zweiphasigen Abbau auf Grund von respirometrischen Messungen fest. Der unterschiedliche Verlauf des Abbaues lässt sich auch aus unseren O_2 -Bestimmungen erkennen. Die ermittelten Werte lassen sich in zwei Gruppen gliedern (siehe Abbildungen 10-13). Zwischen der ersten und zweiten Phase gibt es bestimmt keinen so scharfen Uebergang, wie dies aus der Abbildung 40 hervorgehen könnte.

HAESLER, 1974, konnte bei einem Fettsäuregehalt von 2 g kg^{-1} Erde einen hemmenden Einfluss auf das Wachstum verschiedener Pflanzen feststellen. Wenn wir nun aus den Nadeln des Streuhorizontes circa 2 g und aus dem Fichtenholz der Aestchen ungefähr doppelt soviele gesättigte Fettsäuren eluieren konnten, ist es verständlich, dass EICHRODT, 1970, bei Fichtenkeimlingen auf Moderholz eine geringere Keimungsrate beobachten konnte, als in der Nadelwalderde. Die standörtlichen Beobachtungen zeigten, dass Jungpflanzen an gewissen Stellen aufkommen können und sich dem allelochemischen Einfluss der Fettsäuren widersetzen, wenn wir die oben erwähnten Richtwerte der Tomatenpflanzen (HAESLER, 1974) hier auf die Fichte übertragen. In den unteren Schichten liegen die festgestellten Fettsäurekonzentrationen unterhalb des Richtwertes und haben für die Entwicklung der Fichte keine grosse Bedeutung mehr. Einen positiven Einfluss der Fettsäuren auf die Mikroorganismen-tätigkeit konnten wir mit Zusätzen anhand der CO_2 -Produktionsmessungen (Kap. Bodenaktivität) zeigen. Indirekt wirken die Fettsäuren also auch auf die sich entwickelnde Fichte.

4.3.3. Lipid- und Fettsäurefraktionen

Die Lipidanteile sind in der obersten Schicht am grössten, in der untersten am geringsten. Unsere Resultate des Erdgemisches liegen innerhalb des 1-5% Bereiches, die WAKSMAN und HUTCHINGS, 1935, ermittelten. Die Mittelwerte des Urwaldes Scatlè sind mit den Werten des Fichtenwaldpodsoles von Davos von HAESLER, 1974, vergleichbar.

Für die Schwankungen der Lipid- und Fettsäure-Gehalte der Standorte müssen kleinräumige unterschiedliche topographische Verhältnisse verantwortlich gemacht werden. Die daraus resultierenden veränderten Bodenverhältnisse begünstigen verschiedene Mikroorganismenpopulationen. Bei den diversen Grabungen konnten standörtliche Verschiedenheiten an der Entwicklung des Pilzmycels beobachtet werden. Die Unterschiede sind nicht auf die jahreszeitlich und altersbedingten Schwankungen der Blattorgane zurückzuführen (vgl. MARTIN und BATT, 1958, SCHUCK, 1972, SCHUETT und SCHUCK, 1973) .

Die Aenderung in der Zusammensetzung der Fettsäuren der untersuchten Schichten hat verschiedene Ursachen:

- Entlang dem Profil herrschen unterschiedliche Abbaubedingungen.
- In den einzelnen Schichten können sich spezifische Pilz- und Bakterienpopulationen entwickeln.
- Die verschiedenen heterotrophen Mikroorganismenpopulationen synthetisieren nur bestimmte Fettsäuremuster neu.
- Die Destruenten konservieren in der zelleigenen Substanz Fettsäuren bestimmter Kettenlänge und Oxidationsstufe.

Die aufgeführten Zustände und Vorgänge können im unveränderten Ökosystem experimentell nicht voneinander getrennt werden. Mit unseren Resultaten zeigten wir, dass die Charakteristik der Fichtennadelfettsäuren (Dominanz von C_{22} und C_{24}) in allen Schichten mehr oder weniger erhalten bleibt. Die Mikroorganismen nehmen in Bezug auf das langkettige Fettsäuremuster nur geringfügige Veränderungen vor. Ihre Aktivität ist beschränkt. Die Ergebnisse könnten auch mit der direkten Inkorporation der Fettsäuren durch die Bakterien und der vorübergehenden Lagerung erklärt werden. Unterschiedliche Fettsäurezusammensetzungen, die auf die Tätigkeit der Mikroorganismen zurückgeführt werden, stellte LI, 1978, in seinen Untersuchungen über Fettsäuren aus Böden von Erlen-Koniferen-, Erlen- und Koniferenstandorten fest, nachdem WICKLOW et al. 1974, in den gleichen Beständen vegetationspezifische Pilzpopulationen nachgewiesen hatten. Einen Hinweis auf sich ablösende Mikroorganismen im Fettsäureabbau zeigten uns die Atmungsversuche mit und ohne Zusätze. Sich zersetzende Nadelwalderde wies stets mehrspitzige Atmungskurven auf. Diese Schwankungen deuten auf eine Sukzession von Organismen hin, die von Versuchsbeginn an nach unterschiedlich langer lag-Phase ihr Aktivitätsmaximum erreichen. Es sind die Summen der Einzelprozesse der Stimulierungs- und Hemmeffekte der Substanzen, die sich aus dem Boden isolieren lassen.

Unsere Fettsäuren mit der Kettenlänge C_{12} bis C_{34} wiesen einen Anteil an geradzahligem Säuren von 60-80% auf. MORRISON und BICK, 1967, isolierten Fettsäuren mit einem Anteil von 60 % für C_{24} bis C_{26} , C_{28} und C_{30} . Eine Verschiebung des prozentualen Anteiles innerhalb des Profils konnte nicht nachgewiesen werden. In einer Arbeit über alkanverwertende Pilze (*Candida lipolytica*, Stamm 10) stellte SWANNY, 1975, je nach Alter der Kultur bei den Fettsäuren einen prozentualen Anteil von 79-91% geradzahligem Fettsäuren fest. Diese Zahlen sind nicht direkt übertragbar.

Da in unseren Profilen Populationen verschiedensten Alters existieren, müsste SWANNY's Feststellung bei einer Faktorenanalyse der gesamten Abbauvorgänge im Bodenoekosystem mitberücksichtigt werden.

Die Schwankungen der prozentualen Anteile bei den ungeradzahligen Fettsäurekettenlängen waren geringer. Daraus lässt sich der Hinweis ableiten, dass die hauptsächlichsten Veränderungen auf dem Abtrennen und Anlagern von C_2 -Einheiten an der geradzahligen Kette beruhen.

In den untersten Schichten waren keine gleichartigen Muster zu ermitteln. Deshalb müssen wir annehmen, dass der Boden in Bezug auf die Fettsäuren in einem Fliessgleichgewicht ist, in dem dank der Mikroorganismen noch biochemische Vorgänge von relativ geringem Ausmass ablaufen können (vgl. BROCK, 1967). Würden die Fettsäuren restlos auf das Niveau von Acetyl-CoA bzw. Propionyl CoA oxidiert (β Oxidation) und durch anschliessende de novo Synthese wieder zu mittel- und langkettigen Fettsäuren aufgebaut, müssten etwas veränderte und nicht Picea abies-typische Fettsäuremuster daraus resultieren.

In den ältesten Horizonten, in der C-Schicht, war der Anteil der länger-kettigen Fettsäuren ($> C_{22}$) grösser als in den jüngeren Schichten. Die länger-kettigen Komponenten sind in unserem Falle resistenter gegenüber den Verwertern als die kürzerkettigen oder dann laufen die Umbaureaktionen alle auf eine Verlängerung der Kette hinaus. (vgl. ALEXANDER, 1977). Man könnte einen Kopplungsmechanismus von kurzkettigen zu langkettigen Fettsäuren erwarten. Direkte Beweise fehlen. Auf Grund unserer Analysen sind direkte Additionsreaktionen langer Ketten unwahrscheinlich. Ein Verlängerungsmechanismus, bei dem kleine C- Einheiten angehängt werden, wäre möglich. Da der Gehalt an Dodecan- bis Hexadecansäure (C_{12} bis C_{16}) im Profil sehr uneinheitlich war, kann vermutet werden, dass die entsprechenden Reaktionen (Kettenverlängerung und -verkürzung) mit den entsprechenden Enzymsystemen je nach mikrobiologischen Verhältnissen von diesen Säuren ausgehen. Ueber stimulierende Effekte von Fettsäuren auf Bodenorganismen haben u.a. GLASARE, 1970, und LINDBERG und LINDBERG, 1974, berichtet.

Auf Grund der Untersuchungen von BLASCHKE, 1977, wäre es möglich, dass im anaeroben System der Vorgang des Fettsäureauf- und abbaues bei der Nadelwalderde durch den negativen Feed-back-Mechanismus des Aethylens gesteuert wird.

4.3.4. Fettsäuremuster von Fichtenaestchen

HOELL und PIECZONKA, 1978, untersuchten Fettsäuren des Splint- und Reifholzes (SCHUETT und KOCH, 1978) eines Fichtenstammes. Dabei isolierten sie nur Fettsäuren der Kettenlänge C_{12} bis C_{22} . Nach unseren Ergebnissen sind aus Fichtenaestchen auch längerkettige Fettsäuren zu erwarten. Bei den Aestchenanalysen stellten wir ein Vorherrschen der C_{20} , C_{22} und C_{24} -Säuren fest. Es ist möglich, dass die Unterschiede auf die Entwicklungszustände zurückgeführt werden müssen.

4.3.5. Hydroxyfettsäuren in der Streuschicht

Die erstmals von BOUGAULT und BOURDIER, 1908, aus *Pinus silvestris* isolierten Hydroxyfettsäuren wurden von CORRIGAN et al., 1978, auch für viele *Picea*-Arten als charakteristisch bezeichnet. *Picea abies* L. Karst. gehört nach CORRIGAN et al., 1978, in die Gruppe der C_{14} -Dominanten und soll 20% C_{12} , 60% C_{14} und 20% C_{16} enthalten. Mit unseren Analysen erhielten wir ähnliche Verhältnisse. In den Erdproben der Streuschicht konnten wir die C_{12} -Säure nicht mehr eindeutig finden. Die beschriebene C_{14} -Dominanz wurde durch die C_{16} -Hydroxyfettsäure abgelöst. Weil wir in den untersten Schichten keine Hydroxyfettsäuren mehr nachweisen konnten, müssen wir daraus schliessen, dass die kürzerkettigen Hydroxysäuren vor den längerkettigen abgebaut werden. Ihr Verschwinden deutet auf einen rascheren Abbau als bei den gesättigten Fettsäuren hin.

4.3.6. Alkane in Fichtenwalderde

Bei der qualitativen Analyse konnten in allen Schichten des Profils Alkane festgestellt werden. 1966 beobachtete STEVENSON, dass Paraffine und bestimmte höhere Alkohole gegenüber dem mikrobiellen Abbau speziell resistent sind. Unsere Ergebnisse können obige Aussage nur untermauern. Nach PELLMER und MURPHY, 1969, ist es gar möglich, dass die langkettigen Alkane längere geologische Perioden überdauern können.

Die Hauptkomponenten der n-Alkane von *Picea abies* L. Karst. sind nach CORRIGAN et al., 1978, Alkane der Kettenlänge C_{29} , C_{31} und C_{33} . Nach SCHUCK, 1976, gibt es bei den Zusammensetzungen der Epikutikularparaffine eine altersabhängige Variation. Nach diesem Autor treten C_{23} , C_{25} und C_{29} -

Alkane als Hauptkomponenten auf. Der Hauptanteil unseres Profiles lag bei den kürzerkettigen Alkanen. Es bleibt offen, ob das Vorkommen dieser Substanzen auf die Aktivität der Mikroorganismen zurückzuführen ist. OGNER und SCHNITZER, 1970, isolierten Alkangruppen aus Böden. Dabei zeigten sie, dass die Alkangruppe $C_{14}-C_{23}$ von Mikroorganismen stammt, diejenige der $C_{24}-C_{34}$ Gruppe auf Pflanzen zurückzuführen ist.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Aus einem ursprünglichen Fichtenwald vom Gottschalkenberg (ZG) und aus dem Fichtenurwald Ost. d. Brigels (BO) wurde Erde auf Vollerdeaktivität auf höhere Fettsäuren untersucht.

Die CO_2 -Produktion der Erdproben verschiedener Horizonte war schichtspezifisch. Als aktivste Schicht erwies sich die Uebergangszone Streu-Vermoderungshorizont.

Ansätze mit Dehydrogenations reagentien zur Gewinnung von Fettsäuren. Während der Versuchsdauer konnten die charakteristische Fettsäuremuster der Schichten beobachtet werden.

In fast allen Horizonten kommen gesättigte Fettsäuren der Kettenlänge C_{12} - C_{34} vor.

Innerhalb des Profils bleibt das Picea abies - typische Fettsäuremuster mehr oder weniger erhalten (Dominanz von C_{22} und C_{24}).

Geradzahlige Fettsäuren weisen einen prozentualen Anteil zwischen 65 und 80 % auf. Diese sind grösseren Schwankungen unterworfen als diejenigen der Säuren mit ungeradzahlgiger Kettenlänge.

Über dem Silikatgestein sind prozentual sehr ungesättigte Fettsäuren vorhanden als im Streuhorizont.

Die langkettigen Fettsäuren sind gegenüber der atmosphärischen Abbaureisistenten als die übrige organische Substanz.

Die Moleküllengewichte nehmen im Bereich der langkettigen Fettsäuremuster nur geringfügige Veränderungen vor.

Innerhalb des Profils konnte ein zweiphasiger exponentieller Fettsäureabbau festgestellt werden.

Die Hydroxyfettsäuren der Streu unterscheiden sich im Gehalt von denjenigen der Nadeln.

Die Hauptkomponenten der Alkane des Terebintin Profils liegen zwischen C_{17} und C_{21} .

6. LITERATURVERZEICHNIS

- ALEXANDER, M.: Introduction to soil microbiology. John Wiley & Sons, New York, Santa Barbara, London, Sidney, Toronto, (1977).
- ANNER, O.: CO₂-Produktion verschiedener Erdproben in Abhängigkeit von Fettsäuren und Alkanen. Diplomarbeit, Institut für Pflanzenbiologie der Universität Zürich, Zürich, (1975).
- ARISTOVSKAJA, T.: Ueber die Rolle der Mikroorganismen bei der Podsolierung. Procvoedenie 3, (1956).
- BELL, G.H.: Solubilities of normal aliphatic acids, alcohols and alkanes in water. Chemistry and Physics of Lipids, 10, 1-10, (1973).
- BIRCH, H.F.: Nitrification in soils after different periods of dryness. Plant and Soil, 12, 81-96, (1960).
- BLAKEMAN, J.P.: The chemical environment of leaf surface with special reference to spore germination of pathogenic fungi. Pesticide Science, 4, 575-588, (1973).
- BLASCHKE, H.: Der Einfluss von Temperatur und Feuchtigkeit auf die Bildung von Äthylen in Fichtenstreu. Flora, 106, 203-209, (1977).
- BLIGH, E.G. und DYER, W.J.: A rapid method of total lipid extraction and purification. Canad. J. of Biochem. and Physiol., 37, 911-917, (1959).
- BLUMER, M. and SASS, J.: Oil pollution: Persistence and degradation of spilled fuel oil. Science, 176, 1120-1122, (1972).
- BOUGAULT, J. et BOURDIER, L.: Sur les cires des conifères. Nouveau groupe de principes immédiats naturels. Comp. Rend. Acad. Sci., 147, 1311-1314, (1908) zitiert in: FRANICH, R.A. et al. Epicuticular wax of Pinus radiata needles. Phytochemistry, 17, 1617-1623, (1978).
- BRAIDS, O.C. and MILLER, R.H.: Fats, waxes and resins in soil. in: GIESEKING, J.E.: Soil components, Vol. I., Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, (1975).
- BRANDSBERG, J.W. Mycologia, 61, 373-381, (1969), zitiert von MILLAR, C.S. in DICKINSON, C.H. and PUGH, G.J.F.: Biology of plant litter decomposition. Academic Press, London, New York, (1974).
- BROCK, T.D.: The ecosystem and the steady state. Bio Science, 17, 166-169, (1967).

- BUTLER, J.N.: Pelagic tar. *Scientific Amer.*, 232, 6, 90-97, (1975).
- CANDOLLE DE, A.P.: *Théorie élémentaire de la botanique*. Paris: Deter-ville, (1813), zitiert in: HAESLER, R.C.: Einfluss von gesättigten Fettsäuren auf Keimung und Wachstum von höheren Pflanzen. Dissertation Universität Zürich, Zürich, (1974).
- CASALICCHIO G. e LERCKER G.: *Ricerche sulla costituzione lipidica del suolo*. *Agrochimica*, 17, 318-329, (1973).
- CORRIGAN, D. et al.: n-Alkanes and ω -hydroxyalkanoic acids from the needles of twenty *Picea* species. *Phytochemistry*, 17, 907-910, (1978).
- CRISP, D.J.: In "Waterproofing and Water Repellency". (J.L. MOILLIET, ed.). Elsevier, Amsterdam, London, New York, (1963).
- DOMSCH, K.: Bodenatmung, Sammelbericht über Methoden und Ergebnisse. *Ztl. Bakt.*, 116, 33-78, (1961).
- EDINGTON, L. et al.: Bioassay and transcuticular movement of systemic fungicides. *Pest. Sci.*, 4, 747-752, (1973).
- EGLI, M.: Abbau fester n-Alkane durch *Actinomucor elegans*. Dissertation Universität Zürich, Zürich, (1975).
- EGLINTON, G. and HAMILTON, R.J.: Leaf epicuticular waxes. *Science*, 156, 1322-1355, (1967).
- EGLINTON, G. and HUNNEMAN, D.H.: Gas chromatographic mass spectrometric studies of long chain hydroxy acids. I. The constituent cutin acids of apple cuticle. *Phytochemistry*, 7, 313-322, (1968).
- EGLINTON, G. and MURPHY, M.T.J.: *Organic geochemistry*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, (1969).
- EICHRODT, R.: Ueber die Bedeutung von Moderholz für die natürliche Verjüngung im subalpinen Fichtenwald. Beihefte zur Zeitschrift des Schweiz. Forstvereins, Nr. 45, (1970).
- FIEDLER, H.J. und SCHMIEDEL, H.: *Methoden der Bodenanalyse*. Bd.1: Feldmethoden. Verlag Theodor Steinkopf, Dresden, (1973).
- FLUEHLER, J.: Sauerstoffdiffusion im Boden. Schweiz. Anstalt für forstl. Versuchswesen, 49, Heft 2, 125-250, (1973).
- GALOPINI, C. e RIFFLADI, R.: *Composizione acidica dell'estratto etero del terreno*. *Agrochimica*, 13, 207-211, (1969).
- GETTELF, G.A.: Das Klima von Graubünden (Ein Beitrag zur Regionalklimatologie der Schweiz). *Arbeitsber. der Schweiz. Meteorol. Zentralanstalt*, Zürich, (1978).

- GLASARE, P.: Volatile compounds from *Pinus silvestris* stimulating the growth of wood-rotting fungi. Arch. Mikrobiol., 72, 333-343, (1970).
- GREMMEN, J.: Fungus, 27, 34-42 (1957), zitiert von MILLAR, C.S. in: DICKINSON, C.H. and PUGH, G.J.F.: Biology of plant litter decomposition. Academic Press, London, New York, (1974).
- GRNCAREVIC, M. and RADLER, R.: The effect of wax components on cuticular transpiration, model experiments. Planta, 75, 23-27, (1967).
- HABER, W.: Oekologische Untersuchungen der Bodenatmung (Mit Uebersicht über frühere Bearbeitungen, insbes. Methoden). Flora, 146, 109-157, (1958).
- HAESLER, R.C.: Der Einfluss von gesättigten Fettsäuren auf Keimung und Wachstum von höheren Pflanzen. Dissertation Universität Zürich, Zürich, (1974).
- HAMAKER, J.W.: Decomposition: Quantitative aspects. in: GORING, C.A.I. and HAMAKER, J.W.: Organic chemicals in the soil environment. Vol. 1. Marcel Dekker, Inc., New York, (1972).
- HARTL, H.: Die Soziologie der Urwälder Scatlè und Derborence. Schweiz. Zeitschr. für Forstwesen, 118, 737-743, (1967).
- HAYES, A.J.: Trans. Br. mycol. Soc., 48, 179-185, (1965) zitiert von MILLAR, C.S.: in: DICKINSON, C.H. and PUGH, G.J.F.: Biology of plant litter decomposition. Academic Press, London, New York, (1974).
- HERBIN, G.A. and ROBINS, P.A.: Patterns of variation and development in leaf wax alkanes. Phytochemistry, 8, 1985-1988, (1969).
- HILLGARTER, F.W.: Waldbauliche und ertragskundliche Untersuchungen im subalpinen Fichtenwald Scatlè/Brigels. Dissertation Eidgen. Techn. Hochschule, Zürich, (1971).
- HOELL, W. and PIECZONKA, K.: Lipids in the sap and heartwood of *Picea abies* L. Karst.. Zeitschr. Pflanzenphysiol. 87, 191-198, (1978).
- HOLLOWAY, P.J. and CHALLENGE, S.B.: Thin layer chromatography in the study of natural waxes and their constituents. J. Chrom., 25, 336-346, (1966).
- INO, Y. and MONSI, M.: An experimental approach to the calculation of CO_2 amount evolved from several soils. Jap. Journ. Bot. 20, 153-188, (1969).
- ISERMEYER, H.: Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden. Z. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde, 56, 26-38, (1952).

- IVERSON, J.L.: Quantitative aspects of isothermal and programmed temperature gas chromatography of fatty acid esters and a practical lower limit of detection. *J. Ass. Offic. Anal. Chem.*, 53, 1214-1223, (1970).
- JAMES, A.T.: Qualitative and quantitative determination of the fatty acids by gas liquid chromatography. in: GLICK, D.: *Methods of biochemical analysis*, 8, 1-59, Interscience Publishers, New York, London, (1960).
- JAMES, N.: Soil extract in soil microbiology. *Canad. J. of Microbiol.*, 4, 363-370, (1958).
- JWANNY, E.W.: Lipid components of hydrocarbon assimilating yeast *Candida lipolytica*, strain 10. *Z. f. allg. Mikrobiol.* 15, 423-439, (1975).
- KAECH, P.P.: *Geologie der Brigelshörner (Bündnerisches Vorder-Rheintal)*. Dissertation Universität Zürich, Zürich, (1972).
- KENDRICK, W.B.: Ph. D. Thesis, University of Liverpool, Liverpool, (1968)., zitiert von MILLAR, C.S.: in: DICKINSON, C.H. and PUGH, G.J.F.: *Biology of plant litter decomposition*. Academic Press, London, New York, (1974).
- KHAN, A.A. and KOLATTUKUDY, P.E.: Decarboxylation of long chain acids to alkanes by cell free preparations of leaves (*Pisum sativum*). *Biochem. Biophys. Res. Comm.*, 61, 1379-1386, (1974).
- KOEPP, H.: Untersuchungen über die biologische Aktivität des Bodens. *Z. f. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde*, 67, 289-312, (1954).
- KRAL, F. und MAYER, H.: Pollenanalytische Beiträge zur Geschichte des Naturreservates Brigels/Scatlè (Graubünden). *Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen*, 120. Jahrgang, Nr. 10, (1969).
- LAMB, D.: Decomposition of organic matter on the forest floor *Pinus radiata* plantations. *The J. of Soil Sci.*, 27, 206-217, (1976).
- LEIBUNDGUT, H.: Ueber Zweck und Methodik der Struktur- und Zuwachsanalyse von Urwäldern. *Schweiz. Zeitschrift f. Forstwesen*, 110. Jahrgang, 111-124, (1959).
- LI, C.Y.: Soil fatty acids under alder, conifer, and mixed alder-conifer stands of coastal Oregon. *Soil Sci.*, 125, 92-94, (1978).
- LINDBERG, G. and LINDBERG, M.: Effect of short chain fatty acids on the growth of some mycorrhizal and saprophytic hymenomycetes. *Arch. Microbiol.*, 101, 109-114, (1974).

- LUKOSHKO, E.S.: Changes in the chemical composition of peat-forming plants during decomposition of peat-forming layers under aerobic and anaerobic conditions. Vestis Akad.Navuk Belarusk.SSR., zitiert von BRAIDS, O.C. and MILLER, R.H.: in: GIESEKING, J.E.: Soil components, Vol.1, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, (1975).
- LUNDEGARDH, H.: Der Kreislauf der Kohlensäure in der Natur. Gustav Fischer, Jena, (1924).
- LYNCH, J.M.: Identification of substrates and isolation of microorganisms responsible for ethylene production in the soil. Nature, 240, 45-46, (1972).
- LYNCH, J.M.: Ethylene in soil. Nature, 256, 576-577, (1975).
- LYNCH, J.M.: The terrestrial environment. in: LYNCH, J.M. and POOLE, N.J.: Microbial ecology, a conceptual approach. John Wiley & Sons, New York, Toronto, (1979).
- MACFAYDEN, A.: Energy fluxes in soil microenvironments. in: KRUMBEIN, W.E.: Environmental biogeochemistry and geomicrobiology. Vol.2. The terrestrial environment. Ann Arbor Science Publishers, Inc. Ann Arbor, (1978).
- MC CALLA, T.M. and HASKINS, F.A.: Phytotoxic substances from soil microorganisms and crop residues. Bact. Rev., 28, 181-207, (1964).
- MARTIN, J.T. and BATT, R.F.: Studies on plant cuticle. I. The waxy coverings of leaves. Ann. Appl. Biol., 46, 375-387, (1958).
- MARTIN, J.T. and JUNIPER, B.E.: The cuticles of plants. Edward Arnold Publishers, Ltd., (1970).
- MAYER, H.: Märchenwald und Zaubervald im Gebirge. Zur Beurteilung des Block-Fichtenwaldes. J.b. d. Ver. z. Schutze der Alpenpflanzen und -tiere (1961).
- MAYER, H.: Gebirgswaldbau-Schutzwaldpflege. Ein waldbaulicher Beitrag zur Landschaftsökologie und zum Umweltschutz. Verlag Gustav Fischer, Stuttgart, (1976).
- MEYER, F.H.: Vergleich des mikrobiellen Abbaues von Fichten- und Buchenstreu auf verschiedenen Bodentypen. Arch. Mikrobiol., 35, 340-360, (1960).
- MINDERMAN, G.: Addition, decomposition and accumulation of organic matter in forests. Ecology, 56, 355-362, (1968).
- MORRISON, R.I. and BICK, W.: The wax fraction of soils: Separation and determination of some components. J. Sci. Food. Agric., 18, 351-355, (1967).

- OGNER G. and SCHNITZER.M.: The occurrence of alkanes in fulvic acid, a soil humic fraction. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 34, 921-928, (1970).
- PARKINSON, D. et al. : Methods for studying the ecology of soil micro-organisms. IBP Handbook Nr. 19, Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh, Melbourne, (1971).
- PATRICK, Z.A.: Phytotoxic substances associated with the decomposition in soil of plant residues. *Soil Sci.*, 111, 13-18, (1971).
- PERRET, P.: Persönliche Mitteilung, (1980).
- PLENK, J.: Physiologie und Pathologie der Pflanzen. Wien, (1795), zitiert in: HAESLER, R.C.: Einfluss von gesättigten Fettsäuren auf Keimung und Wachstum von höheren Pflanzen. Dissertation Universität Zürich, Zürich, (1974).
- RADLER, F. and HORN, D.H.S.: The composition of grape cuticle wax. *Aust. J. Chem.*, 18, 1059-1069, (1965).
- RICHARD, F. et al.: Physikalische Eigenschaften von Böden der Schweiz, Bd.1., Professur für Bodenphysik der ETH Zürich, Herausgeber Dr. W. Bosshard, Eidg. Anstalt f. forstl. Versuchswesen, Birmensdorf, (1978).
- SANTOSA: The action of long chain fatty acids on germination and plant growth. Dissertation Universität Zürich, Zürich, (1974).
- SAUERBECK, D.: Die Umsetzung markierter, organischer Substanzen im Boden in Abhängigkeit von Art, Menge und Rottegrad. *Landw. Forschung*, 21, 91-102, (1968).
- SCHEFFER, F. und SCHACHTSCHABEL, P.: Lehrbuch der Bodenkunde. Verlag Ferdinand Enke, Stuttgart, (1979).
- SCHLEGEL, H.G.: Allgemeine Mikrobiologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, (1972).
- SCHMIDT-VOGT, H.: Die Fichte, Bd.1. Verlag Paul Parey, Hamburg, (1977).
- SCHREINER, O. and REED, H.S.: The toxic action of certain organic plant constituents. *Bot. Gaz.*, 45, 73-102, (1908).
- SCHREINER, O. and SHOREY, E.C.: The isolation of dihydroxystearic acid from soils. *J. Amer. Chem. Soc.*, 30, 1599-1607, (1908).
- SCHREINER, O. and SHOREY, E.C.: Some acid constituents of soil humus. *J. Amer. Chem. Soc.*, 32, 1674-1680, (1910).
- SCHUCK, H.J.: Die Zusammensetzung der Nadelwachse von *Pinus silvestris* in Abhängigkeit von Herkunft und Nadelalter sowie ihre Bedeutung für die Anfälligkeit gegenüber *Lophodermium pinastri* (SCHRAD.) CHEV.. *Flora*, 161, 604-622, (1972).

- SCHUCK, H.J.: Quantitative Variation der Wachsaufgabe und der cuticulären Kohlenwasserstoffe bei *Picea abies*-Nadeln. *Flora*, 165, 303-314, (1976).
- SCHUETT, P.: Untersuchungen über den Einfluss von Cuticularwachsen auf die Infektionsfähigkeit pathogener Pilze. I. *Lophodermium pinastri* und *Botrytis cinera*. *Eur. J. For. Path.*, 1, 32-50, (1971).
- SCHUETT, P.: Untersuchungen über den Einfluss von Cuticularwachsen auf die Infektionsfähigkeit pathogener Pilze. II. *Rhytisma acerinum*, *Microsphaera alphoitoides* und *Fusarium oxysporum*. *Eur. J. For. Path.*, 2, 43-45, (1972).
- SCHUETT, P. und KOCH, W.: Allgemeine Botanik für Forstwirte. Pareys Studentexte 17. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, (1978).
- SCHUETT, P. und SCHUCK, H.J.: Jahreszeitliche Schwankungen in der Zusammensetzung der Cuticularwachse von *Pinus silvestris*. *Flora*, 162, 206-214, (1973).
- SCHULZE: Mitteilung, (1979).
- SPRINGER, U. and LEHNER, A.: Decomposition and synthesis of humus by aerobic and anaerobic decomposition of organic substances important in agriculture and forestry. *Z. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde*, 58, 193-231, 59, 1-27, (1952).
- STEBING, L.: Pflanzenoekologisches Praktikum. Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg, (1965).
- STEVENSON, F.J.: Lipids in soil. *J. Amer. Oil. Chem. Soc.*, 43, 203-210, (1966).
- STOCKER, H.: Epikutikuläre Blattwachse bei *Coffea*. Dissertation Universität Zürich, Zürich, (1976).
- THORNTON, H.G.: On the development of a standardized agar medium for counting soil bacteria with especial regard to the repression of spreading colonies. *Ann. appl. Biol.*, 9, 241-274, (1922).
- TULLOCH, A.P.: Epicuticular wax of *Poa* leaves. *Phytochemistry*, 17, 1613-1615, (1978).
- TULLOCH, A.P. and HOFFMANN, L.L.: Leaf wax of Durum wheat. *Phytochemistry*, 10, 871-876, (1971).
- TULLOCH, A.P. and HOFFMANN, L.L.: Leaf wax of *Triticum aestivum*. *Phytochemistry*, 12, 2217-2223, (1973).
- TULLOCH, A.P. and HOFFMANN, L.L.: Composition of epicuticular waxes of some grasses. *Canad. J. of Botany*, 25, 853-857, (1977).

- WAGNER, G.H. and MUZOREWA, E.I.: Lipids of microbial origin in soil organic matter. in: Soil organic matter studies, Proceedings of a symposium, Braunschweig 6.-10. September, 1976, Vol. II. International Atomic Energy Agency, Vienna, (1977).
- WAKSMAN, S.A. and HUTCHINGS, I.J. Chemical nature of organic matter different soil types. Soil Sci., 40, 347 - , (1935).
- WICKLOOW, M.C. et al.: Comparison of soil microfungi in 40-year old stands of pure alder, pure conifer and alder-conifer mixtures. Soil Biol. Biochem., 6, 73-78, (1974).

7. ANHANG

Nomenklatur der Fettsäuren

C ₁₂	Dodecansäure	(Laurinsäure)	12-Hydroxylaurin- säure (Sabininsäure)
C ₁₃	Tridecansäure		
C ₁₄	Tetradecansäure	(Myristinsäure)	14-Hydroxymyristin- säure
C ₁₅	Pentadecansäure		
C ₁₆	Hexadecansäure	(Palmitinsäure)	16-Hydroxypalmitin- säure (Juniperinsäure).
C ₁₇	Heptadecansäure	(Margarinsäure)	
C ₁₈	Oktadecansäure	(Stearinsäure)	
C ₁₉	Nonadecansäure		
C ₂₀	Eicosansäure	(Arachinsäure)	
C ₂₁	Heneicosansäure		
C ₂₂	Docosansäure	(Behensäure)	
C ₂₃	Tricosansäure		
C ₂₄	Tetracosansäure	(Lignocerinsäure)	
C ₂₅	Pentacosansäure		
C ₂₆	Hexacosansäure	(Cerotinsäure)	
C ₂₇	Heptacosansäure	(Hyänasäure)	
C ₂₈	Octacosansäure	(Montansäure)	
C ₂₉	Nonacosansäure		
C ₃₀	Tricontansäure	(Melissinsäure)	
C ₃₁	Hentriacontansäure		
C ₃₂	Ditricontansäure		
C ₃₃	Tritriacontansäure		
C ₃₄	Tetratriacontansäure	(Gheddasäure)	

Zusammensetzung von technischer Behensäure (HAESLER, 1974)

Palmitinsäure	0.2 %
Stearinsäure	7.9 %
Arachinsäure	6.3 %
Behensäure	83.5 %
Lignocerinsäure	2.5 %

DANK

Herrn Prof. Dr. H. Wanner möchte ich für die Leitung der Arbeit und die kritische Durchsicht des Manuskriptes danken.

Allen Mitarbeitern des Institutes für Pflanzenbiologie, die mir mit wertvollen Hinweisen und Anregungen geholfen haben, danke ich. Namentlich seien hier Frau D. Metzger (Rasterelektronenmikroskopie) und Herrn Dr. G. Dütsch (†) (Aethylenbestimmung) erwähnt.

Ferner danke ich Herrn Prof. Dr. H. Leibundgut, Inst. für Waldbau, ETH Zürich, für die Ueberlassung des Untersuchungsgebietes.

CURRICULUM VITAE

Otto Anner, von Tegerfelden AG,
geboren am 2. Juni, 1945, in Tegerfelden.

- | | |
|-----------|---|
| 1952-1957 | Primarschule Tegerfelden |
| 1957-1961 | Bezirksschule Endingen |
| 1961-1965 | Lehrerseminar Wettingen |
| 1965 | Lehrpatent des Kantons Aargau |
| 1970-1975 | Studium an der Universität Zürich, Philosophische
Fakultät II, Hauptfach: Allgemeine Botanik |
| 1975 | Diplom |
| 1975-1980 | Dissertation unter der Leitung von Herrn Prof. Dr.H.
Wanner, Institut für Pflanzenbiologie der Universität
Zürich |
| 1965-1970 | Primarlehrertätigkeit in Stilli AG |
| 1974-1979 | Assistententätigkeit am Institut für Pflanzenbiologie |
| 1974-1980 | Lehrbeauftragter und Hilfslehrer am Oberseminar Zürich,
an den Kantonsschulen Wiedikon und Hottingen. |

Bei folgenden Dozenten und Lehrbeauftragten besuchte ich Kurse und Vorlesungen in den Fachbereichen Agronomie, Anatomie, Anthropologie, Biochemie, Botanik, Chemie, Geographie, Mathematik, Mikrobiologie, Physiologie, Zoologie sowie in Pädagogik, Psychologie und Fachdidaktik:
R. Bachofen, J. Biegert, H. Boesch, P. Blatter, E. Bolliger, H. Burla, P.S. Chen, C.D.K. Cook, I.de Mendoza, B. Eller, P. Endress, C.H.Eugster, A. Gigon, M. Greuter, K. Grob, E. Hadorn, H.Hediger, R.Hirsig, H.R.Hohl, R.Hunsperger, E.Jungen, H.Jungen, H.Keller, F.Klötzli, W.Koblet, F.Knüsel, S.Kubik, H.Kummer, E.Landolt, F.Leuthardt, H.R.Lüthy, H.Oswald, D.Rast, F. Richard, O.Rohweder, H. Schaeppi, F. Schanz, J. Schlittler, K. Schneider, H. Schuepp, B. Stüssi, P. Tardent, E. Thomas, H.Tobler, B. van der Waerden, H. Wanner, R. Wehner, Ch. Weissmann, O. Woodtli, A. Wyler, V. Ziswiler.

